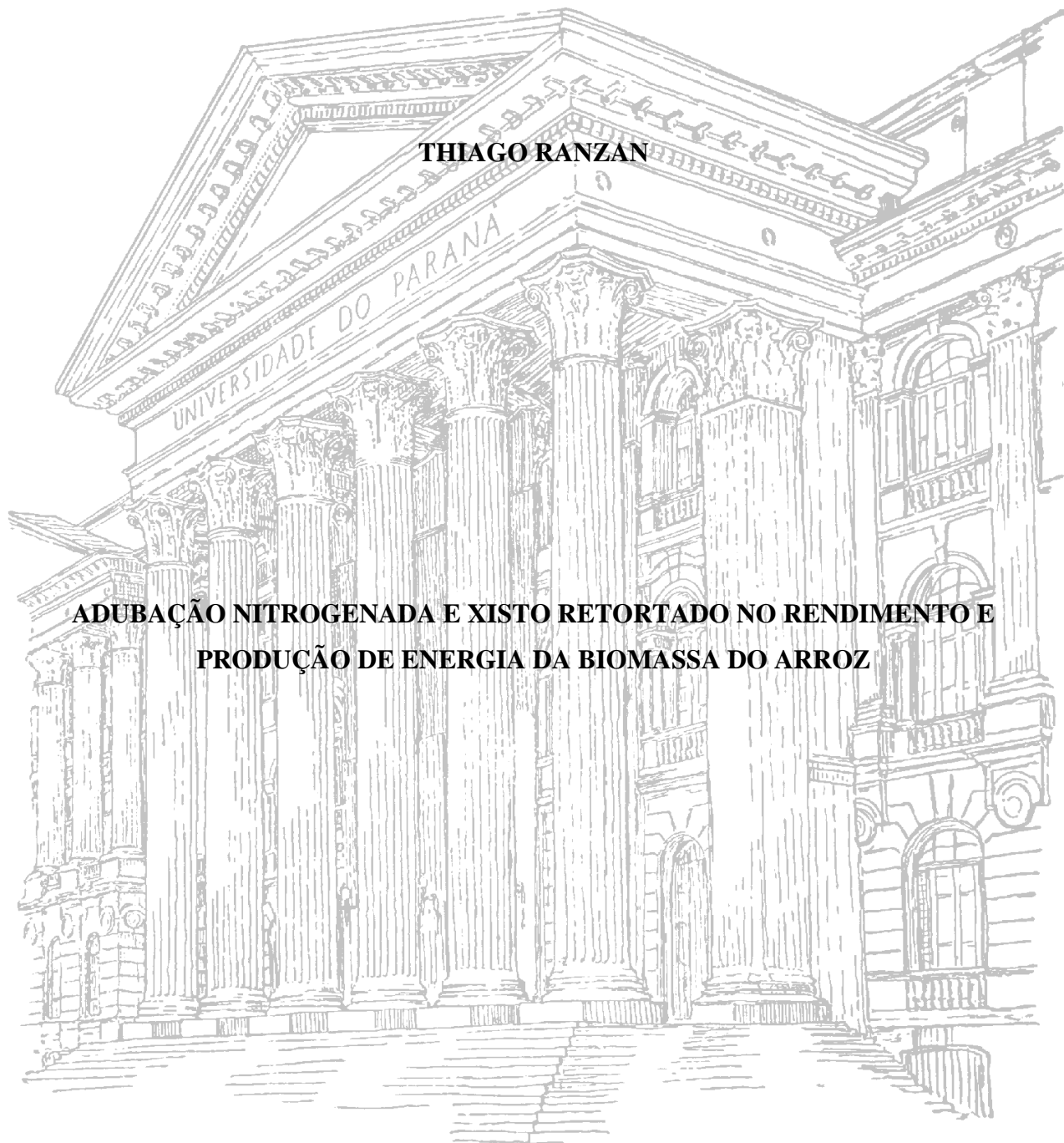


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

THIAGO RANZAN

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E XISTO RETORTADO NO RENDIMENTO E
PRODUÇÃO DE ENERGIA DA BIOMASSA DO ARROZ**



CURITIBA

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

THIAGO RANZAN

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E XISTO RETORTADO NO RENDIMENTO E
PRODUÇÃO DE ENERGIA DA BIOMASSA DO ARROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-orientadora: Dra. Rosane Martinazzo

Co-orientador: Dr. Carlos Augusto Posser
Silveira

CURITIBA

2014



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **THIAGO RANZAN**, intitulada: **Adubação nitrogenada e xisto retornado no rendimento e produção de energia da biomassa do arroz**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela **"APROVAÇÃO"** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 27 de fevereiro de 2014.


Prof. Dr. Volnei Pauletti, Presidente


Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira, Iº. Examinador


Dr. Carlos Augusto Posser Silveira, IIº. Examinador

***“O único lugar onde o sucesso vem antes do
trabalho é no dicionário.”***

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Durante esse dois anos só tenho a agradecer todos que passaram pelo meu caminho e com certeza deixaram um pouco de si. Os momentos de alegria serviram para me permitir acreditar na beleza da vida, e os de sofrimento, serviram para um crescimento pessoal único. É muito difícil transformar sentimentos em palavras, mas serei eternamente grato a vocês, pessoas imprescindíveis para a realização e conclusão deste trabalho.

Primeiramente agradeço a **Deus, Nossa Senhora Aparecida** e ao **Santo Anjo**, os quais me protegem e guiam sempre pelo caminho da luz.

Aos meus pais **Jandir** e **Denize Maria Comunello Ranzan** incentivadores da minha caminhada ao longo de toda a vida, sempre dispostos a ajudar no que for preciso.

Agradeço ao **Volnei Pauletti** por acreditar que eu era capaz e pela orientação. Mesmo chegando sem me conhecer, abriu as portas, como um pai abre os braços para receber um filho. Nesse mundo, repleto de pessoas ruins, me faz acreditar que os bons são a maioria. Só tenho a agradecer aos seus ensinamentos (pessoais e acadêmicos), orientações, palavras de incentivo, puxões de orelha, paciência e dedicação. Você é uma pessoa ímpar, onde busco inspiração para me tornar melhor em tudo que faço, e irei fazer daqui para frente. Tenho orgulho em dizer que um dia fui seu orientado.

À **Dra. Rosane Martinazzo** e **Dr. Carlos Augusto Posser Silveira**, também através do nome deles estendendo o agradecimento a todos do **Grupo de Pesquisa Xisto Agrícola**, que depositaram toda sua confiança no meu trabalho.

À Prof^a. **Dra. Fabiane Machado Vezzani** pelos conselhos para o amadurecimento pessoal e profissional e também a todos os **professores do Departamento de Solos** onde realmente formam um grupo unido.

A todos os laboratoristas em especial ao **Roberto** da Fertilidade e a **Maria** da Mineralogia, pela disposição e profissionalismo.

Também a todos os bolsistas de iniciação científica principalmente ao **Gabriel Demetrios Ternoski**, pela responsabilidade na execução de um dos ensaios em casa de vegetação, também à **Marília Cavassim Alves**, **Glória Vidal** e **Carla Sampaio Guimarães** pela ajuda desde as coletas a campo, aos procedimentos laboratoriais.

Agradeço também as instituições **Universidade Federal do Paraná, Embrapa Clima Temperado e Petrobras**, responsáveis por todo o suporte durante a execução dos experimentos, com auxílios teóricos, técnicos e financeiros.

Aos amigos

“Quem tem um amigo, mesmo que um só, não importa onde se encontre, jamais sofrerá de solidão; poderá morrer de saudades, mas não estará só”

Amir Klink

A minha “irmã” **Leticia de Pierri**, passamos muitos apertos principalmente com a letra R do vocabulário, foi um prazer atuar junto contigo nestes dois anos, todo sucesso do mundo a você.

A **Ana Beatriz de Oliveira** no início apenas uma aluna da graduação que chegou do intercâmbio e iria fazer iniciação científica, agora uma amiga a qual admiro sua inteligência e dedicação, só tem a vencer na vida.

Aos grandes colegas **Murilo, Maico, Reinaldo, Giovana, Verediana, Gilson, Steve, João, Bruna, Pergentino, Raul, Rangel, Julierme, Joyce, Tiago e Mauricio** e todos os demais **colegas do mestrado e doutorado**, as melhores discussões eram após o almoço do RU no famoso cafezinho.

A gurizada do apartamento 31B, **Luciano, João Paulo, Paulo, Henrique** e vizinhança **André e César** pela parceria sempre.

A minha melhor amiga **Leda Carla Segalin** e em nome dela todos os meus grandes amigos de Santa Catarina, vocês estiveram comigo nas melhores e nas piores fases da minha vida, e com certeza estarão para sempre. OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
1. CAPÍTULO I. ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CONJUNTO COM XISTO RETORTADO NO RENDIMENTO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS.....	6
1.1. Resumo	6
1.2. Abstract	7
1.3. Introdução	8
1.4. Material e Métodos	9
1.5. Resultados e Discussão	12
1.6. Conclusões	16
1.7. Literatura Citada	17
2. CAPÍTULO II. ADUBAÇÃO NITROGENADA E PRODUÇÃO DE ENERGIA DA BIOMASSA RESIDUAL DO ARROZ DE TERRAS ALTAS.....	24
2.1. Resumo	24
2.2. Abstract	25
2.3. Introdução	25
2.4. Material e Métodos	27
2.5. Resultados e Discussão	29
2.6. Conclusões	33
2.7. Literatura Citada	34
CONCLUSÃO GERAL	42
CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
APÊNDICES	44
RESUMO BIOGRÁFICO	46

ADUBAÇÃO NITROGENADA E XISTO RETORTADO NO RENDIMENTO E PRODUÇÃO DE ENERGIA DA BIOMASSA DO ARROZ¹

Autor: Thiago Ranzan²

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti³

Co-Orientadora: Dra. Rosane Martinazzo⁴

Co-orientador: Dr. Carlos Augusto Posser Silveira⁴

RESUMO GERAL

A busca pela solução de passivos ambientais é uma vertente crescente nos dias atuais. Materiais considerados resíduos pela indústria podem apresentar alguma utilidade agrônômica. Alguns produtos podem contribuir para melhoria das condições do solo, fornecimento de nutrientes às plantas ou melhorando a eficiência de insumos aplicados. Este é o caso do xisto retortado, coproduto gerado na extração de petróleo do folhelho pirobetuminoso pela Petrobras no Brasil. O principal fertilizante utilizado como fonte de nitrogênio para o cultivo de gramíneas como o arroz, é a ureia, que pode ter sua eficiência reduzida pela perda por volatilização de amônia, quando utilizada de forma inapropriada. A aplicação de nitrogênio pode resultar tanto em aumento da produtividade de grãos de arroz, utilizado na alimentação humana, quanto na biomassa residual que permanece no campo. Esta biomassa pode ser utilizada na produção de energia elétrica. Objetivou-se por meio deste estudo, avaliar: a) a eficiência da adubação nitrogenada influenciada pela aplicação conjunta com xisto retortado no arroz de terras altas e; b) a influência da adubação nitrogenada no potencial de geração de energia a partir da biomassa do arroz de terras altas. Foram conduzidos dois experimentos paralelamente sendo um em casa de vegetação com diferentes fontes de nitrogênio aplicadas em conjunto com o xisto retortado, avaliando as perdas por volatilização, e outro a campo, com diferentes fontes e doses de nitrogênio com aplicação em superfície de xisto retortado. Neste trabalho os resultados são

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. (54 p.) Dezembro, 2014.

² Mestrando em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. E-mail, ranzan@ufpr.br.

³ Professor, Doutor, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - DSEA, Universidade Federal do Paraná-UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê. CEP 80035-050 Curitiba (PR). E-mails: vpauletti@ufpr.br;

⁴ Pesquisador, Doutor, Embrapa Clima Temperado, EMBRAPA. Pelotas, RS.

apresentados em dois capítulos, sendo que no primeiro são discutidos os efeitos do xisto retornado na diminuição da volatilização do nitrogênio da ureia e consequente efeito no arroz. No segundo capítulo, através de dados do experimento conduzido em campo, é discutido o efeito da adubação nitrogenada na produção e qualidade da biomassa, para combustão e produção de energia elétrica e o potencial de geração de energia do arroz de terras altas. No capítulo 1 conclui-se que a dose de nitrogênio para a máxima produtividade de grãos de arroz foi de 210 kg ha⁻¹ e a mistura da ureia com xisto retornado tem potencial para redução da volatilização do nitrogênio, resultando em um maior teor deste elemento na folha do arroz. No capítulo 2 concluiu-se que a adubação nitrogenada aumenta a oferta de biomassa e a qualidade de combustão desta biomassa residual do arroz de terras altas, sendo que esta cultura apresenta potencial para uso na geração de energia.

Palavras-chave: Nitrogênio, sequeiro; terras altas; bioenergia; xisto agrícola; volatilização de amônia.

NITROGEN FERTILIZATION AND RETORTED SHALE ON THE YIELD AND PRODUCTION OF ENERGY FROM BIOMASS OF RICE⁵

Author: Thiago Ranzan

Advisor: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co- Advisor: Dra. Rosane Martinazzo

Co- Advisor: Dr. Carlos Augusto Posser Silveira

GENERAL ABSTRACT

Industry searching for the solution of environmental liabilities is a growing aspect in society, given the fact that many materials currently considered waste, can present particular utility. This is the shale's case, co-product generated in the extraction of oil from oil shales by Petrobras in Brazil. Agriculture is an important destination of these products, which can contribute to improve soils conditions, nutrient supply to plants or improving the efficiency of applied inputs.

⁵ Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (54 p.) February, 2014.

Among the main products used as nutrient source for growing grasses such as rice, is urea, which is the most used nitrogen source. Urea, however, can have its efficiency reduced by ammonia volatilization losses when applied to acid soil. The contribution of nitrogen application can result in both increased grain yield of rice, used in human food, as in the residual biomass that remains in the field. This biomass can be used to produce electricity, though its potential should be evaluated. The aim of this study was to evaluate: a) the nitrogen fertilization efficiency influenced by its application with retorted shale in upland rice and; b) the influence of nitrogen fertilization on the potential for power generation from biomass in upland rice. Two experiments were conducted at the same time, one at the greenhouse with different nitrogen sources applied in conjunction with retorted shale, evaluating volatilization losses, and another at the field, with different nitrogen sources and levels with surface applications of retorted shale. The results are presented in two chapters, the first of which discusses the retorted shale effects in reducing the nitrogen volatilization from urea and grain yield of rice. The second chapter, using the data from the field experiment, discusses the effects of nitrogen fertilization on yield and quality of biomass, for combustion to produce electricity and potential power generation of upland rice. In Chapter 1 we conclude that the dose of nitrogen for maximum grain yield of rice was 210 kg ha^{-1} and the mixture of urea and retorted shale has the potential to reduce nitrogen volatilization, resulting in a higher content of this element in rice leaf. In chapter 2 it was concluded that nitrogen fertilization increases the supply of biomass and combustion quality of this residual biomass of upland rice, and this culture has potential for use in power generation.

Keywords: Nitrogen, dryland, highlands, bioenergy; agricultural shale, ammonia volatilization.

INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa* L.) é cultivado em todos os continentes, ocupando cerca de 163 milhões de hectares, com uma produção de 718 milhões de toneladas de grãos em casca (FAO, 2013), podendo ser produzido em sistema de terras baixas e terras altas, também denominados irrigado e sequeiro, respectivamente. O nitrogênio (N) é um elemento essencial no desenvolvimento da cultura do arroz, tendo um importante papel na fisiologia da planta (Fernandes & Souza, 2006) e nos componentes do rendimento aumentando o número de perfilhos, número de panículas, que estão relacionados com a produtividade desta cultura (Fageria, 1984; Husain & Sharma, 1991). No arroz, doses elevadas e superiores a 100 kg ha⁻¹ são aplicadas em sistema irrigado, porém em cultivos de terras altas recomendações máximas não ultrapassam os 100 kg ha⁻¹ (CQFS RS/SC, 2004).

Segundo Trivelin et al. (2002); Cantarella (2007), o nitrogênio é instável no ambiente, apresentando uma baixa eficiência no seu uso, pois grande parte é perdido por desnitrificação (Dalal et al., 2003), lixiviação (Bertol et al., 2005) e volatilização na forma de amônia (N-NH₃) (Lara Cabezas et al., 1997; Martha Junior et al., 2004; Tasca et al., 2011). A reação da volatilização é $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$, ocorrendo basicamente quando o N-NH₄⁺ encontra-se em ambiente alcalino (Bissani et al., 2008). Esta baixa eficiência da adubação nitrogenada tem um custo energético elevado uma vez que a produção de todos os adubos nitrogenados parte da síntese da amônia, através da quebra da ligação tripla do N₂ atmosférico (Chagas, 2007). Para o rompimento desta forte ligação a demanda energética é de aproximadamente 7889 kWh Mg⁻¹ (Chagas, 2007; Brehmer et al., 2008), produzida basicamente com o uso de combustíveis fósseis, estes, recursos não renováveis.

Para um melhor aproveitamento do nitrogênio, estão surgindo no mercado produtos que minimizam as perdas deste elemento, aumentando a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados. Atualmente já são conhecidos inibidores da urease, como a molécula orgânica tiofosfato de N-butiltriamida, conhecida como NBPT, que em mistura com a ureia retardam o início da volatilização, aumentando as probabilidades de uma precipitação pluviométrica incorporar o produto ao solo quando aplicado em superfície (Cantarella, 2007). Embora a ureia seja a principal fonte nitrogenada utilizada no Brasil, apenas uma parte é comercializada em mistura com o NBPT, entre outros motivos, devido ao preço mais elevado e a baixa estabilidade da molécula de NBPT o que dificulta a armazenagem.

O folhelho pirobetuminoso, vulgarmente conhecido como xisto, é uma rocha silto-argilosa de origem sedimentar e granulação fina, com tendência a se dividir em folhas com um conteúdo apreciável de matéria orgânica, que através de um tratamento térmico pode produzir óleo, gás e enxofre (Alba et al., 2006). Segundo Machado & Bigatão (2007), no complexo industrial de beneficiamento de xisto através do Processo Petrosix, em São Mateus do Sul - PR, 6600 Mg dia⁻¹ de xisto são pirolisados a 500 °C em atmosfera inerte, gerando 6000 Mg dia⁻¹ de coprodutos, sendo 90 % em massa do xisto processado, um destes coprodutos é denominado xisto retornado. Diante da sua composição química, o uso conjunto do xisto retornado com a fertilização nitrogenada pode apresentar potencial na redução das perdas por volatilização, assim melhorando a eficiência de utilização do nitrogênio. Este potencial está sendo avaliado no âmbito do Projeto Xisto Agrícola (Embrapa Clima Temperado/Petrobras - SIX), iniciado em 2005 e que tem como principal objetivo a avaliação de potenciais insumos agrícolas derivados da cadeia produtiva do xisto, sendo necessário caracterizar os materiais e avaliar sua segurança ambiental e alimentar.

A demanda energética mundial cresce juntamente com o aumento populacional, principalmente em países com economias emergentes, como é o caso do Sudeste da Ásia, Oriente Médio, América do Sul e África (Pérez-Lombard et al., 2008). Em 2010 o consumo energético mundial era de 534.114 milhões de giga joule, sendo os principais consumidores os Estados Unidos e China com 39 % do total da energia produzida (IEA, 2012).

Para atender esta demanda buscam-se fontes de energia renováveis (Bridgwater et al., 1999; Demirbas, 2004; Pérez-Lombard et al., 2008), como a utilização da biomassa residual das atividades agrícolas. Esta é uma tecnologia que pode ser considerada incipiente, quando comparada com as outras fontes de energia, mas segundo van den Broek et al. (1996) e IEA (2012), já é uma realidade em muitos países da Europa e da América do Norte.

O objetivo deste trabalho é a busca de alternativa para reduzir as perdas por volatilização da ureia com o uso conjunto do xisto retornado e avaliar os efeitos da adubação nitrogenada na qualidade da biomassa residual e também no potencial de geração de energia do arroz de terras altas.

LITERATURA CITADA

ALBA, J.M.F.; PILLON, C.N. & MIURA, A.K. Workshop de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração de Xisto. São Mateus do Sul, PR. Relatório de reunião técnica/editores, Embrapa Clima Temperado, 2006, 45p.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N. & LAVORANTI, O.J. Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em Sistema de semeadura direta. *Floresta*, 35:429-442, 2005.

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. & TEDESCO, M.J. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre, Metrópole, 2008. 344p.

BREHMER, B.; STRUIK, P.C. & SANDERS, J. Using an energetic and exergetic life cycle analysis to assess the best applications of legumes within a biobased economy. *Biomass and Bioenergy*, 32:1175-1186, 2008.

BRIDGWATER, A.V.; MEIER, D. & RADLEIN. An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic Geochemistry*, 30:1479-1493, 1999.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. ed. *Fertilidade do solo*. Viçosa, SBCS, 2007. p. 376-449.

CHAGAS, A.P. A síntese da amônia: alguns aspectos históricos. *Química Nova*, 30:240-247, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

DALAL, R.C.; WANG, W.; ROBERTSON, G.P. & PARTON, W.J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 41:165-195, 2003.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30:219-230, 2004.

FAGERIA, N. K. Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz. Rio de Janeiro: Embrapa, 1984.

FERNANDES, M.S. & SOUZA, S.R. Nitrogênio. In: SOUZA, S.R. & FERNANDES, M.S. ed. *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, SBCS, 2006. p. 115–153.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. FAOSTAT. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em 16 Jan. 2014.

HUSAIN, S.M. & SHARMA, U.C. Response of rice tonitrogen fertilizer in acidic soil of Nagaland. *Journal Agricola Science*, 61:662-664, 1991.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, Energy balances of non-OECD countries. Disponível em <http://www.iea.org/media/training/presentations/statisticsmarch/BalancesofNonOECDCountries.pdf>>. Acesso em 16 Jan. 2014.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:489-496, 1997.

MACHADO, N.R.C.F. & BIGATÃO, D.M.M.M. utilização de zeólitas sintetizadas a partir de xisto retornado na remoção de arsênio em águas contaminadas. *Química Nova*, 30:1108-1114, 2007.

MARTHA JUNIOR, G. B.; CORSI, M., TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T. L. F.; TEIXEIRA, G. M.; MANZONI, C. S. & BARIONI, L. G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com ureia no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33:2240-2247, 2004.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J. & POUT, C. A review on bulings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40:394-398, 2008.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L.C. & CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:493-502, 2011.

TRIVELIN, C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C. & BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:193-201, 2002.

VAN DEN BROEK, R.; FAALJ, A. & VAN WIJK, A. Biomass combustion for power generation. *Biomass and Bioenergy*, 11:271-281, 1996.

CAPÍTULO 1. ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CONJUNTO COM XISTO RETORTADO NO RENDIMENTO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS⁶

Thiago Ranzan⁷; Volnei Pauletti⁸; Carlos Augusto Posser Silveira⁹; Rosane Martinazzo⁴; Gabriel Demetrios Ternoski¹⁰

RESUMO

O arroz é um importante cereal para a alimentação humana, sendo produzido em todos os continentes. Entre os fatores que podem afetar a produtividade do arroz o nitrogênio (N) se destaca, tanto pela exigência pela planta, quanto pelas altas doses aplicadas. No ambiente, o N é instável e sofre várias reações, o que diminui a eficiência dos adubos aplicados. A ureia é o adubo nitrogenado mais utilizado no mundo. Durante sua hidrólise, intermediada pela enzima urease, ocorre a formação de amônia (N-NH₃) que pode ser perdida por volatilização. Quando a ureia é aplicada em condições inadequadas estas perdas de N podem ser superiores a 50% da quantidade aplicada. Diante disso, técnicas e produtos têm sido estudados para minimizar estas perdas, como inibidores de urease e metais, que são misturados à ureia e ofertados no mercado. O xisto retortado, é um dos coprodutos originados após a pirólise do folhelho pirobetuminoso para extração de óleo, gás e enxofre. Além do pH abaixo de 3,3, este produto tem em sua composição metais como B e Cu, que em uso conjunto com a ureia pode evitar a perda por volatilização de amônia. O objetivo deste trabalho foi estudar o potencial do xisto retortado em aumentar a eficiência da adubação nitrogenada em arroz de terras altas, através da redução das perdas por volatilização e determinar a dose de N para obtenção da máxima produtividade. Foram conduzidos dois experimentos simultaneamente, um em casa de vegetação com sete tratamentos, elaborados da mistura de ureia com o xisto retortado avaliando-se a volatilização após a aplicação dos tratamentos. E o segundo experimento conduzido a campo combinando cinco doses e quatro fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura. As perdas máximas por volatilização foram de 14,3 % do total de nitrogênio aplicado, e a utilização de xisto retortado em mistura com a ureia demonstrou potencial na redução da volatilização de nitrogênio.

⁶ Resultados parciais da dissertação de mestrado enviada para publicação.

⁷ Mestrando em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. E-mail, ranzan@ufpr.br.

⁸ Professor, Doutor, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - DSEA, Universidade Federal do Paraná-UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê. CEP 80035-050 Curitiba (PR). E-mails: vpauletti@ufpr.br.

⁹ Pesquisadores, Doutores, Embrapa Clima Temperado, EMBRAPA. Pelotas, RS. E-mail, augusto.posser@embrapa.br; rosane.martinazzo@embrapa.br;

¹⁰ Acadêmico de Agronomia. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. E-mail, demetriosgdt@bol.com.br.

Aplicação de xisto retornado em cobertura, posterior a aplicação da ureia aumentou os teores de nitrogênio na folha índice da cultura do arroz conduzido a campo. A dose para o máximo rendimento de grãos de arroz foi de 210 kg ha⁻¹, não havendo diferença entre as fontes de fertilizantes nitrogenados para o rendimento de grãos.

Palavras-chave: Arroz de sequeiro; volatilização de amônia; ureia; xisto agrícola.

CHAPTER 1. NITROGEN FERTILIZATION IN CONJUNCTION WITH RETORTED SHALE IN YIELD OF UPLAND RICE

ABSTRACT

Rice is an important cereal for human consumption, being produced on all continents. Among the factors that may affect the productivity of rice nitrogen (N) stands out, both by plant requirement as the high doses applied. The environment N is unstable and undergoes several reactions, which decreases the efficiency of applied fertilizers. Urea is the most widely used nitrogen fertilizer in the world, but whose hydrolysis, mediated by the enzyme urease, it forms ammonia that can be lost through volatilization occurs. Thus, methods and products have been studied to reduce these losses, as inhibitors of urease and metals, which are mixed with urea and supplied in the market. The retorted shale is one of the byproducts originated after pyrolysis of oil shales for the extraction of oil, gas and sulfur. Besides pH below 3.5, the product has in its composition metals as B and Cu, which used together with urea may prevent losses by volatilization. The aim of this work was to study the potential of retorted shale in increasing the efficiency of nitrogen fertilization in upland rice shale, by reducing volatilization losses. Two experiments were conducted simultaneously, one in a greenhouse with seven treatments, elaborated mixing urea with retorted shale, evaluating volatilization after treatments application. The second experiment was conducted in the field by combining five levels and four sources of nitrogen applied on the coverage. The maximum losses by volatilization were 14.3% of total nitrogen applied, and the use of retorted shale plus urea demonstrated potential for reducing nitrogen volatilization. Coverage retorted shale application, subsequent urea application increased the content of nitrogen in the index leave of rice conducted in the field. The dose for maximum grain yield of rice was 210 kg ha⁻¹, with no difference between the sources of nitrogen fertilizer for grain yield.

Keywords: upland rice, ammonia volatilization, urea, agricultural shale

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é cultivado em todos os continentes, ocupando aproximadamente 163 milhões de hectares, com uma produção de 718 milhões de toneladas de grãos em casca (FAO, 2013), podendo ser produzido em sistema de terras baixas e terras altas, também denominado irrigado e sequeiro, respectivamente. O nitrogênio (N) é um elemento essencial no desenvolvimento da cultura do arroz, tendo um importante papel na fisiologia da planta (Fernandes & Souza, 2006), e nos componentes do rendimento aumentando o número de perfilhos, número de panículas, estes relacionados com a produtividade desta cultura (Fageria 1984; Husain & Sharma, 1991). No arroz, doses elevadas e superiores a 100 kg ha⁻¹ são aplicadas quando em sistema irrigado, enquanto em cultivos de terras altas recomendações máximas não ultrapassam os 100 kg ha⁻¹ (CQFS RS/SC, 2004).

Segundo Trivelin et al. (2002); Cantarella (2007), no ambiente o nitrogênio é instável, apresentando uma eficiência de uso de 50 %, o restante é perdido pela desnitrificação (Dalal et al., 2003), lixiviação (Bertol et al., 2005) e volatilização na forma de amônia (N-NH₃) (Lara Cabezas et al., 1997; Martha Junior et al., 2004; Tasca et al., 2011). Quando aplicados em solos alcalinos pH > 7, qualquer fertilizantes nitrogenado que apresenta o nitrogênio na forma amoniacal está passível de perda de N-NH₃, entretanto, nas condições brasileiras a ocorrência de solos com estas características são baixas (Cantarella, 2007).

A ureia é a principal fonte nitrogenada utilizada, devido ter em sua composição alta concentração de nitrogênio e geralmente apresentar menor custo por unidade do nutriente. A hidrólise da ureia pela ação da urease, forma o carbonato de amônio, que em sua dissociação gera pH alcalino em volta do grânulo, favorecendo a formação de amônia (N-NH₃), perdendo-se principalmente quando a ureia é aplicada em superfície com solo úmido (Trivelin et al., 2002; Tasca et al., 2011). Para diminuir as perdas, estudos buscam alternativas em produtos, os quais otimizem o uso do fertilizante nitrogenado. Já são utilizados inibidores da urease, como a molécula orgânica tiofosfato de N-butiltriamida, conhecida como NBPT, que retardam o início da volatilização, aumentando a probabilidade de uma precipitação pluviométrica incorporar a ureia ao solo e com isso evitar perdas, porém esta eficiência é dependente das condições climáticas, as quais nem sempre são previsíveis (Cantarella, 2007). A ureia recoberta com cobre e boro e revestida com polímeros são outras alternativas que vem sendo adotadas (Blaylock, 2007).

O folhelho pirobetuminoso, vulgarmente conhecido como xisto, é uma rocha silto-argilosa de origem sedimentar e granulação fina, com tendência a se dividir em folhas com um conteúdo apreciável de matéria orgânica, que através de um tratamento térmico pode produzir óleo, gás e enxofre (Alba et al., 2006). Segundo Machado & Bigatão (2007), no complexo industrial, na Superintendência de Industrialização do Xisto, Petrobras - Six, em São Mateus do Sul, PR, 6600 Mg dia⁻¹ de xisto são pirolisados a 500 °C em atmosfera inerte, gerando 6000 Mg dia⁻¹ de coprodutos, sendo 90 % em massa do xisto processado. Um dos coprodutos formado é denominado xisto retornado. Algumas amostras de xisto retornado apresentam pH próximo a 3,3 e níveis de Cu e B de 48,4 e 163 mg kg⁻¹. Em análises de porosidade aberta, Ribas (2012) encontrou um aumento médio de 1010 % na porosidade após o processo de pirólise, sendo que estes canais formados podem aprisionar fisicamente a N-NH₃ e afetar as perdas de nitrogênio. Além da presença da pirita (FeS₂) na composição mineralógica.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivos determinar as perdas de N-NH₃ por volatilização e a eficiência do xisto retornado em reduzir estas perdas a partir da ureia e determinar a dose de N para obtenção da máxima produtividade de grãos de arroz de terras altas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos simultaneamente, sendo um em casa de vegetação no Setor de Ciências Agrárias da UFPR, em Curitiba, PR e outro a campo, em São Mateus do Sul, PR, com as coordenadas 25°51'39"S 50°23'50"W, altitude 822 m e distante aproximadamente 150 km da capital Curitiba, no ano agrícola de 2012/2013.

Ensaio em casa de vegetação

Este experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar a volatilização de nitrogênio da ureia quando em mistura com xisto retornado. As unidades experimentais foram constituídas por bandejas plásticas, correspondendo a uma área de 1.119 cm², com 10 kg de solo seco com 60 % de argila e pH_{CaCl} 5,8, mantendo-se a umidade do solo em 10 % da massa (Tasca et al., 2011).

O experimento consistiu de sete tratamentos com delineamento experimental inteiramente casualizados e com três repetições: controle sem aplicação de N (Controle); ureia

perolizada (Ureia); ureia perolizada misturada ao xisto retornado (U+XR); ureia aquecida misturada com xisto retornado (U+XR27%); ureia perolizada peletizada com xisto retornado utilizando amido (U+XRamido); ureia perolizada peletizada com xisto retornado utilizando cola branca (U+XRcola) e; ureia perolizada com adição de 530 mg kg⁻¹ do inibidor de urease tiofosfato de N-butiltriamida (U+NBPT). O xisto retornado utilizado apresentava granulometria 100 % menor que 0,3 mm. Com exceção do tratamento com ureia aquecida, nos demais tratamentos que receberam aplicação de xisto retornado (U+XR, U+XRamido e U+XRcola), a proporção deste produto em relação ao total aplicado de ureia foi de 5%. No tratamento U+XR, o xisto retornado foi simplesmente misturado à ureia, na proporção de 100 g de ureia para 100 g de xisto retornado, que após a mistura o material foi passado em peneira de 2 mm, ficando somente os grânulos de ureia recobertos pelo xisto retornado. O tratamento U+XR27%, teve por objetivo permitir a aplicação de uma quantidade maior de xisto retornado na ureia. Para isso, a ureia foi aquecida a temperatura de 130 °C para adquirir a forma líquida para posterior mistura com o xisto retornado; após atingir a temperatura ambiente a mistura se solidificou. Pela quantidade aplicada de xisto, a porcentagem de nitrogênio deveria ser de 33 %, porém a análise do fertilizante realizada posteriormente à implantação do experimento, indicou um teor de 27 % de N, de maneira que a dose aplicada para este tratamento foi de 115 kg ha⁻¹ de N. Provavelmente durante o processo de aquecimento houve perda de parte do N da ureia. Para os demais tratamentos a dose utilizada foi de 140 kg ha⁻¹ de N.

A metodologia de captação de amônia (N-NH₃) tem o princípio da retenção do gás em ácido sulfúrico (H₂SO₄) em câmara coletora semiaberta livre estática, de acordo com o método descrito por Araujo et al. (2009). A quantidade de N-NH₃ volatilizada foi determinada no 1º, 3º, 5º, 7º, 12º e 17º dia após a implantação do experimento. Sendo que, em cada uma destas épocas, foi efetuada a troca de espuma e dos frascos com ácido sulfúrico. A câmara também foi mudada de local dentro da bandeja, não repetindo o local coletado. Após as coletas, em cada frasco foi adicionada água deionizada até preencher os iniciais 10 ml de solução e os frascos foram armazenados em ambiente refrigerado e posteriormente feita a leitura da quantidade de N-NH₃ volatilizada em espectrofotômetro (Silva, 1999).

Ensaio a campo

O segundo experimento foi conduzido na área experimental do Projeto Xisto Agrícola, localizada no município de São Mateus do Sul – PR. O solo do local do experimento é

classificado como Argissolo Vermelho Amarelo de acordo com EMBRAPA (2006). Neste solo desde 2005 foi cultivado as seguintes espécies mamona (2005, 2006 e 2007), pousio (2008, 2009 e 2010) e nos últimos dois anos aveia-preta, milho, trigo e milho. A análise de solo antes da implantação do experimento apresentou 1,3 % de matéria orgânica, 4,7 de pH CaCl_2 , 2,5 mg dm^{-3} de P, 0,28, 5,0 e 3,4, 7,0 e 0,4 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ de K, Ca e Mg, H+Al e Al respectivamente com V % de 55,7 e um m % de 4,3.

No experimento foi utilizada a cultivar IAPAR 64 – Saco Cheio com ciclo longo de aproximadamente 135 dias. A semeadura foi realizada no dia 19/11/2012, no período recomendado de acordo com o zoneamento agroclimático para o estado do Paraná (IAPAR, 2012), colocando-se em média setenta sementes por metro linear (140 por m^2). Foi utilizada uma semeadora-adubadora de quatro linhas, com profundidade de semeadura de 3 a 5 cm. As aplicações dos tratamentos fitossanitários foram realizadas de acordo com a necessidade da cultura.

A adubação de semeadura foi realizada no sulco, aplicando-se 5 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e 50 kg ha^{-1} de K_2O utilizando a mistura da fórmula 2-20-20, com o superfosfato triplo (44 % de P_2O_5). Também foi realizada uma adubação de cobertura com aplicação a lanço de 30 kg ha^{-1} de K_2O no início do perfilhamento, com cloreto de potássio.

O tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 5x4, combinando cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha^{-1}) com quatro fontes de nitrogênio (ureia - Ureia, ureia + xisto retortado 2000 kg ha^{-1} - Ureia+XR, ureia misturada com 530 mg kg^{-1} do inibidor de urease tiofosfato de N-butiltriamida - Ureia+NBPT e nitrato de amônio). Os tratamentos foram aplicados a lanço em cobertura no dia 09 de janeiro de 2013, no estágio do perfilhamento. Para o tratamento com aplicação de ureia e xisto retortado, aplicou-se primeiramente a dose de ureia e posteriormente a lanço e em cobertura 2000 kg ha^{-1} de xisto retortado.

O delineamento experimental utilizado em campo foi de blocos completamente casualizados, com três repetições, totalizando 60 unidades experimentais. As parcelas (unidades experimentais) foram constituídas de oito linhas com cinco metros de comprimento, espaçadas a 0,45m (duas passadas de semeadora). A área útil foi composta pelas quatro fileiras centrais, descartando-se as fileiras das extremidades e os 0,5 m iniciais e finais das fileiras.

Para determinação o nível crítico de nitrogênio (N) na folha índice, foram coletadas no pleno florescimento (22 de fevereiro de 2013), dentro de cada unidade experimental, dez folhas bandeira (CQFS RS/SC, 2004), para determinação do teor de N. As folhas foram lavadas com

água deionizada, secadas em estufa e moídas, para posterior análise. O N foi determinado via combustão seca, em analisador elementar Vario EL III, segundo a metodologia proposta por Martins & Reissmann (2007).

A colheita se deu a partir do dia 27/03/2013, sendo realizada até o dia 15/04/2013 devido à maturação fisiológica ocorrer inicialmente no tratamento controle (sem nitrogênio) e por último nas maiores doses aplicadas de N. Por ocasião da colheita foram determinados: a altura de plantas, obtida pela medida de dez plantas ao acaso, por parcela, tendo-se considerado a distância entre a superfície do solo e a inserção da panícula; número de panículas por metro quadrado contando-se as panículas em 1 m² da área útil; número de perfilhos obtido através da contagem nas mesmas dez plantas utilizadas para determinação da altura de planta; rendimento de grãos, realizando-se a colheita das quatro linhas centrais com quatro metros, seguido de trilhagem, pesagem, determinação da umidade e transformação em kg ha⁻¹ com 130 g kg⁻¹ de umidade.

Para determinar a dose de máxima eficiência econômica (DMEE), foram utilizados os dados gerados pela equação de regressão, $DMEE \text{ kg ha}^{-1} = 17,17 - Y/(2*0,040)$. Considerou-se o preço de venda de R\$ 2,49 para o kg de nitrogênio, e o valor de R\$ 1,10 para o kg do arroz, sendo Y a divisão entre o custo do N e o preço pago pelo arroz.

Os dados climáticos de precipitação diária para a área experimental constam na Figura 1 e são referentes ao período de 01 de novembro de 2012 à 31 de março de 2013, dados fornecidos pela estação automática instalada na Superintendência de Industrialização do Xisto da Petrobras.

Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância, pelo teste F, através do software R[®] versão 2.15.1 e as diferenças entre médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para avaliação do fator quantitativo doses de N foi utilizada a análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio em casa de vegetação

Nos cinco primeiros dias não houve volatilização de N-NH₃ (Figura 2a), fato relacionado à baixa umidade inicial do solo. Geralmente a volatilização tem seu pico máximo no quinto dia, enquanto neste estudo o pico de volatilização se deu no décimo segundo dia após a aplicação, com exceção do tratamento U+XR27% que apresentou pico de volatilização no

sétimo dia. Isso pode estar relacionado a umidade na qual o solo foi mantido, valor baseado no estudo de Tasca et al. (2011), que encontraram as maiores perdas de N-NH_3 (28 % do aplicado) mantendo-se 10 % a umidade do solo.

A ureia+NBPT retardou em aproximadamente dois dias o início da volatilização, porém apresentou perdas semelhantes aos demais tratamentos (Figura 2a). O NBPT tem como princípio retardar a volatilização, porém, não diminuiu as perdas em situação propícias para volatilização, concordando com Tasca et al. (2011), e segundo Scivittaro et al. (2010), podendo se iniciar quatorze dias após a aplicação. No décimo sétimo dia houve uma redução de volatilização em todos os tratamentos (Figura 2a).

A perda média acumulada foi de 7,5 % do N total aplicado (Figura 2b), cerca de 10,5 kg ha^{-1} , sendo que 43 % desta perda aconteceu entre o sétimo e o décimo segundo dia após a aplicação. Nos tratamentos em que a ureia foi peletizada com xisto (Ureia+XRcola e Ureia+XRamido) houveram as maiores perdas acumuladas de N-NH_3 de 20,0 e 14,6 kg ha^{-1} , respectivamente, o equivalente a 14,3 % e 10,4 % do nitrogênio aplicado. Este percentual ainda é baixo quando comparado àqueles obtidos por Lara Cabezas et al. (1997) e Martha Jr et al. (2004) de 78% e 44%, respectivamente. Por outro lado, os tratamentos Ureia+XR e Ureia+XR27% apresentaram uma perda média acumulada equivalente a 7,5 % do total aplicado, ou seja, uma redução de aproximadamente 31% do observado na ureia, em que houve perda de 10,7% do total de nitrogênio aplicado (Figura 2b).

Algumas hipóteses podem explicar esta diminuição da volatilização pela presença do xisto retornado. Segundo Pimentel et al. (2006), o xisto retornado apresenta características adsorventes na superfície das partículas por apresentar em sua composição grupos ativos provenientes das espécies minerais e resíduos orgânicos. O xisto retornado utilizado apresentou $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ de 42,7 $\text{cmol}_\text{c}\text{dm}^{-3}$, que pode favorecer a retenção do amônio (N-NH_4^+), após a hidrólise da ureia, impedindo sua possível transformação em N-NH_3 . Também, o xisto retornado utilizado apresentou $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ de 3,3, favorecendo a formação de NH_4 pela reação do N-NH_3 com o próton de H^+ do produto, ou pelo tamponamento do pH ao redor da ureia aplicada, uma vez que um dos fatores que favorecem as perdas é a elevação do pH próximo do adubo para valores alcalinos. De acordo com Ribas (2012) com a pirólise há um aumento na porosidade do xisto retornado, com isso poderia haver uma retenção física da N-NH_3 , devido um aumento da área superficial do material. O mesmo autor observou a presença 6,03 % de S-SO_3 no xisto, além de análises de difração de raios X apresentarem picos de pirita (Fe_2S). Segundo Montalti

et al. (1991) e Albuquerque Jr et al. (2004) a reação de oxidação da pirita forma enxofre elementar e gera H^+ , tendendo o decréscimo do pH em torno da ureia+XR e ureia+XR27% durante o seu umedecimento.

De acordo com Benini et al. (2004), Moraes et al. (2010) e Stafanato et al. (2013), a presença de micronutrientes, principalmente Cu e B acarretam em diminuição das perdas por volatilização, atuando diretamente na inibição da urease de forma competitiva e não competitiva, ao modo que estes elementos fazem parte da composição do xisto retornado. Os tratamentos Ureia+XRamido e Ureia+XRcola por ocasião da peletização, podem ter impedido o contato direto entre a ureia e o xisto retornado, assim não havendo efeito na diminuição da volatilização.

Ensaio a campo

A interação entre os fatores doses e fontes de nitrogênio não foi significativa para todas as variáveis avaliadas. Dessa forma são apresentados os efeitos isolados de cada variável. As fontes de N foram diferentes apenas em relação ao número de panículas e teor de N na folha (Tabela 1). O número de panículas por metro quadrado no tratamento com Ureia e com Ureia+XR foi de 193,1 e 192,5, respectivamente, 20 % superiores à fonte nitrato de amônio. Os dados encontrados por Marchesan et al., (2011), corroboram com os encontrados neste estudo, ao modo que, a ureia destaca-se positivamente dentre as demais fontes nos componentes de rendimento. Apesar desta diferença, a produtividade de grãos não diferiu entre fontes de nitrogênio, com uma média 1914 kg ha^{-1} , semelhante à obtida por Hernandez et al. (2010).

O nitrogênio por ser componente da clorofila é translocado principalmente para as folhas, principal órgão para a fotossíntese das plantas (Hawkesford et al., 2012). Os teores de nitrogênio na folha índice foram maiores com a aplicação de Ureia+XR em relação à aplicação da Ureia, não diferindo da Ureia+NBPT e do nitrato de amônio (Figura 3). Estes dados reforçam os obtidos no experimento conduzido em casa de vegetação onde a mistura da ureia com o xisto retornado reduziu em aproximadamente 31 % a perda da $N-NH_3$ por volatilização (Figura 2b). O teor de nitrogênio na folha índice aumentou até a dose de 165 kg ha^{-1} (Figura 4a) proporcionando teor de $42,5 \text{ g kg}^{-1}$ de N. Com isso, o nível crítico calculado em relação a 90% da produtividade máxima obtida nas condições deste estudo, é de $41,9 \text{ g kg}^{-1}$. Hernandez et al. (2010) obtiveram um teor de nitrogênio foliar de $29,5 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 200 kg ha^{-1} , valor

inferior, possivelmente pelo maior acúmulo de biomassa observado pelos autores, ocasionando um efeito de diluição (Crusciol et al., 2010).

O número de panículas por metro quadrado aumentou linearmente com a aplicação das doses de N (Figura 4b), resultado semelhante ao observado por Gitti et al. (2012) em arroz irrigado. Com a aplicação de 200 kg ha^{-1} de N o arroz apresentou 251 panículas por metro quadrado, 153 % superior ao controle, sendo que para o aumento de uma panícula por metro quadrado foi necessário aplicar $1,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N.

A maior altura de plantas foi obtida com a aplicação de 205 kg ha^{-1} de N (Figura 4b), com as plantas apresentando uma altura máxima de 74 cm. Na média, a altura foi de 66 cm, inferior aquelas encontradas por Cazetta et al. (2008), Hernandez et al. (2010) e Fonseca et al. (2012) que observaram em cultivares distintas da IAPAR 64, valores acima de 90 cm, por isso não houve acamamento neste estudo. O número de perfilhos por planta aumentou até a dose de 176 kg ha^{-1} de N, com o valor de 2,6 perfilhos por planta (Figura 4c). O aumento no número de perfilhos afetou diretamente o número de panículas, pois ambos apresentam correlação significativa ($r = 0,54^{**}$).

A dose de nitrogênio que proporcionou a maior produtividade de grãos de arroz foi de 210 kg ha^{-1} de N. Com essa dose a produtividade foi de 2613 kg ha^{-1} , ou seja, um incremento de 222 % em relação aos 810 kg ha^{-1} do tratamento sem aplicação de nitrogênio (Figura 4d) e de 27 % em relação à produtividade média do Paraná que foi de 1951 kg ha^{-1} na mesma safra (SEAB, 2013). Rendimentos maiores são relatados na literatura em sistema irrigado por Cazetta et al. (2008), Hernandez et al. (2010) e Fonseca et al. (2012), que obtiveram produtividades máximas de 3747, 4122 e 2897 kg ha^{-1} , com as doses de 100, 100 e 75 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Comparando-se as doses de máxima eficiência técnica destes autores verifica-se que todos chegaram a valores aproximados a 100 kg ha^{-1} , enquanto neste estudo a máxima produção de grãos foi alcançada com a aplicação de 210 kg ha^{-1} de N. Deve-se considerar ao analisar as diferenças de produtividade que nos trabalhos destes autores os solos apresentavam alta fertilidade, com altos teores de P e K, enquanto no presente trabalho os teores destes nutrientes eram baixos. Considerando os preços de venda do arroz de terras altas e adubação nitrogenada, a dose de máxima eficiência econômica (DMEE) se deu com a aplicação de 182 kg ha^{-1} de N.

O teor de nitrogênio na folha índice apresentou correlação positiva com a produtividade de grãos ($r = 0,76^{**}$), altura de planta ($r = 0,80^{**}$), número de perfilhos ($r = 0,55^{**}$) e número de

panículas por metro quadrado ($r=0,82^{**}$). De acordo com Ottis & Talbert (2005) encontraram correlações semelhantes a este trabalho ($r > 0,85$), para densidade de panículas. Portanto, a importância da adubação nitrogenada na produção final da cultura do arroz de terras altas, está relacionada aos efeitos em todas as variáveis avaliadas.

CONCLUSÕES

A perda máxima de $N-NH_3^+$ por volatilização foi 14,3 % do total de nitrogênio aplicado e a utilização de xisto retornado em mistura direta com a ureia tem potencial na redução da volatilização de nitrogênio.

Aplicação de xisto retornado em cobertura posterior a aplicação da ureia aumentou os teores de nitrogênio na folha índice.

A dose para a máxima produtividade de grãos do arroz de terras altas (IAPAR 64) foi de 210 kg ha^{-1} , independente da fonte nitrogenada utilizada.

LITERATURA CITADA

ALBA, J.M.F; PILLON, C.N. & MIURA, A.K. Workshop de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração de Xisto. São Mateus do Sul, PR. Relatório de reunião técnica/editores, Embrapa Clima Temperado, 2006, 45p.

ALBUQUERQUE JUNIOR, C.R.; DUTRA, A.J.B. & MONTE, M.B.M. Eletroquímica da pirita e da arsenopirita na presença de amil xantato de potássio. Revista Escola de Minas, 57:297-302, 2004.

ARAÚJO, E. da S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. de B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. & ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44:769-776, 2009.

BENINI, S.; RYPNIEWSKI, W.R.; WILSON, K.S.; MANGANI, S. & CIURLI, S. Molecular details of urease inhibition by boric acid: Insights into the catalytic mechanism. Journal of the American Chemical Society, 126:3714-3715, 2004.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N. & LAVORANTI, O.J. Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em Sistema de semeadura direta. Curitiba, Floresta, 35:429:442, 2005.

BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 120, p. 8-10. 2007.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. ed. Fertilidade do solo. Viçosa, SBCS, 2007. p. 376-449.

CAZETTA, D.A.; ARF, O.; BUZETTI, S.; SÁ, M.E. & RICARDO ANTÔNIO FERREIRA RODRIGUES, R.A.F. Desempenho do arroz de terras altas com a aplicação de doses de nitrogênio e em sucessão às culturas de cobertura do solo em sistema de plantio direto. Bragantia, 67:471-479, 2008.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

CRUSCIOL, C.A.C.; COSTA, A.M.; BORGHI, E.; CASTRO, G.S.A. & FERNANDES, D.M. Fertilizer distribution mechanisms and side dress nitrogen fertilization in upland rice under no-tillage system. *Scientia Agricola*, 67:562-569, 2010.

DALAL, R.C.; WANG, W.; ROBERTSON, G.P. & PARTON, W.J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 41:165-195, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.; Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Produção de Informação; 1ª. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 412p.

FAGERIA, N. K. Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz. Rio de Janeiro: Embrapa, 1984.

FERNANDES, M.S. & SOUZA, S.R. Nitrogênio. In: SOUZA, S.R. & FERNANDES, M.S. ed. *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, SBCS, 2006. p. 115–153.

FONSECA, A.E.; ARF, O.; JUNÍOR, V.O.; BUZETTI, S. & RODRIGUES, R.A.F. Preparo do solo e doses de nitrogênio em cobertura em arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42:246-253, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. FAOSTAT. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em 16 Jan. 2014.

GITTI, D. C.; ARF, O.; PORTUGAL, J.R.; CORSINI, D.C.D.C.; RODRIGUES, R.A.F. & KANEKO, F.H. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. *Bragantia*, 71:509-517, 2012.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I.S. & PHILIP WHITE. MARSCHNER, P. Functions of macronutrients. In: Mineral nutrition of higher plants, 3.ed. Estados Unidos da América, Elsevier, 2012. 651p.

HERNANDES, A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O. & SÁ, M.E. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz. *Ciência e Agrotecnologia*, 34:307-312, 2010.

HUSAIN, S.M. & SHARMA, U.C. Response of rice tonitrogen fertilizer in acidic soil of Nagaland. *Journal Agricola Science*, 61:662-664, 1991.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. Zoneamento Agroclimático para o estado do Paraná. Disponível em <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1063>> Acesso em 16 Jan. 2014.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 21:489-496, 1997.

MACHADO, N.R.C.F. & BIGATÃO, D.M.M.M. utilização de zeólitas sintetizadas a partir de xisto retornado na remoção de arsênio em águas contaminadas. *Química Nova*, 30:1108-1114, 2007.

MARCHESAN, E.; GROHS, M.; SANTOS, D.S.; FORMENTINI, T.C.; SILVA, L.S.; SARTORI, G.M.S. & FERREIRA, R.B. Fontes alternativas à ureia no fornecimento de nitrogênio para o arroz irrigado. *Ciência Rural*, 41:2053-2059, 2011.

MARTHA JUNIOR, G. B.; CORSI, M., TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T. L. F.; TEIXEIRA, G. M.; MANZONI, C. S. & BARIONI, L. G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com ureia no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33:2240-2247, 2004.

MARTINS, A.A.L. & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químicos-analíticos. *Scientia Agrária*, 8:1-17, 2007.

MONTALTI, M., FORNASIERO, D., RALSTON, J. Ultraviolet-visible spectroscopy study of the kinetics of adsorption of ethyl xanthate on pyrite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 143:440-450, 1991.

MORAES, M.F.; ABREU JUNIOR, C.H. & LAVRES JUNIOR, J. Micronutrientes. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V. & STIPP, S.R., eds. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba, IPNI, 2010. p.207-278.

OTTIS, B. V. & AND R. E. TALBERT. Rice yield components as affected by cultivar and seedling rate. *Agronomy Journal*, 97:1622-1625, 2005.

PIMENTEL, P.M.; SILVA JR., C. N.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F.; MALDONADO, G. & HENRIQUE, D. M. Caracterização e uso de xisto para adsorção de chumbo(II) em solução. *Cerâmica*, 52:194-199, 2006.

RIBAS, L. Influência do processo de pirólise sobre as camadas de folhelho pirobetuminoso de São Mateus do Sul – PR. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Geologia – UFPR. 154p

SCIVITTARO, W. B.; GONCALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C. do & RICORDI, V.G. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. *Ciência Rural*, 40:1283-1289, 2010.

SEAB (SECRETÁRIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO). Comparativo de área, produção e produtividade. Paraná, PR, 2013. 6p.

SILVA, F.C.da. Manual de Análise Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. 1ª ed. Brasília: Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária, 1999. p. 370.

STAFANATO, J.B.; GOULART, R.S.; ZONTA, E.; LIMA, E.; MAZUR, N.; PEREIRA, C.G. & SOUZA, H.N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em

ambiente controlado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:726-732, 2013.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L.C. & CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 35:493-502, 2011.

TRIVELIN, C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C. & BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:193-201, 2002.

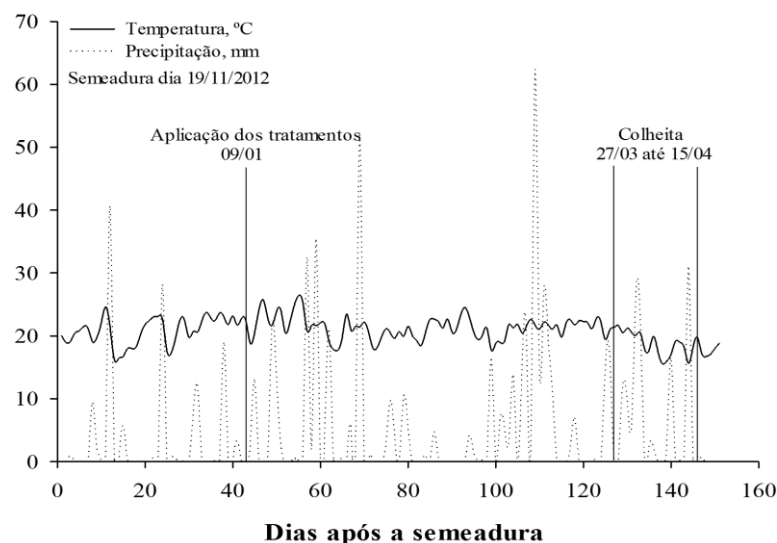


Figura 1 – Precipitação diária ocorrida no período de 01 de novembro de 2012 até 31 de março de 2013 na área experimental do Projeto Xisto Agrícola. São Mateus do Sul, 2013.

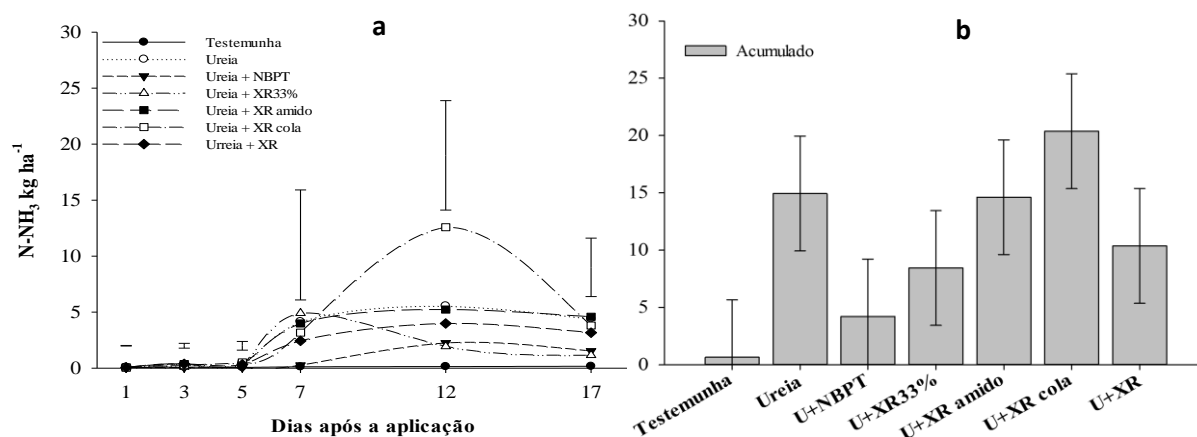


Figura 2 – Perda por volatilização de $N-NH_3$ no decorrer de dezessete dias da aplicação das fontes nitrogenadas (a) e perda acumulada em porcentagem após os dezessete dias de condução do experimento (b). Curitiba-PR, 2014.

Tabela 1 - Efeito das fontes de nitrogênio nos componentes do rendimento, na produção de biomassa e no rendimento de grãos da cultura do arroz de terras altas. São Mateus do Sul-PR, 2013

	Panícula		Perfilho		Altura de planta	Rendimento	
	m^2		planta		cm	$kg\ ha^{-1}$	
Ureia	193,1	a	2,2	a	65,9	1980	a
Ureia + XR ¹	192,5	a	2,2	a	66,5	2047	a
Ureia + NBPT ²	162,5	ab	2,3	a	65,6	1920	a
Nitrato de amônio	153,3	b	2,3	a	65,4	1711	a

¹XR = xisto retornado aplicado a lança após a ureia na dose de $2000\ kg\ ha^{-1}$; ² NBPT = inibidor da urease tiofosfato de N-butiltriamida ($530\ mg\ kg^{-1}$). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si - Tukey ($p \leq 0,05$).

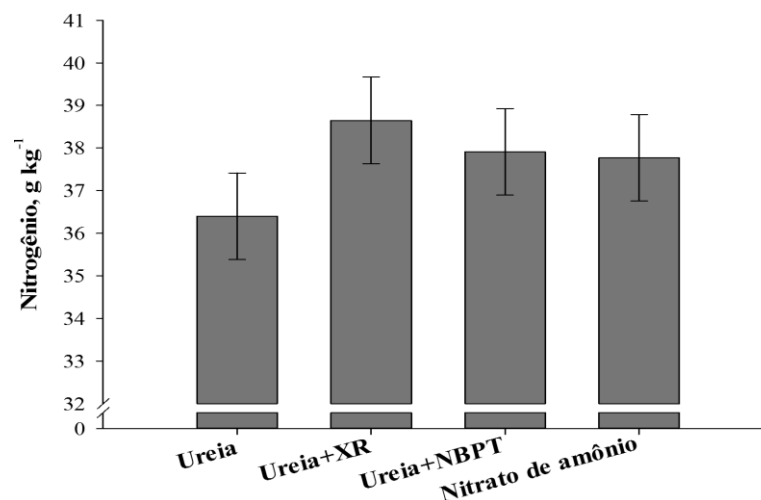


Figura 3 – Teor de nitrogênio na folha índice da cultura do arroz de terras altas em função das fontes de nitrogênio utilizadas. Média das doses de nitrogênio São Mateus do Sul - PR, 2014.

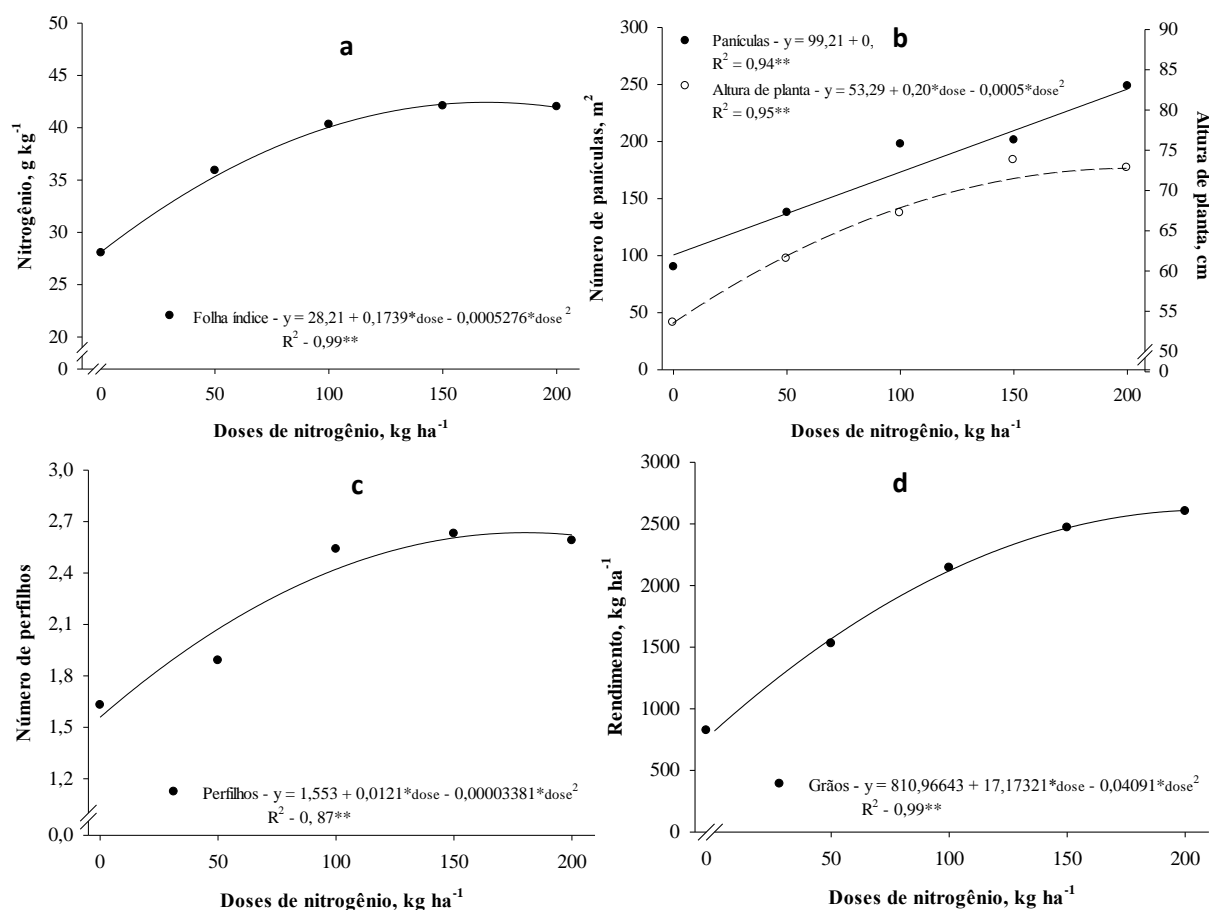


Figura 4 – Efeito das doses de nitrogênio no teor de nitrogênio na folha índice (a), no número de panículas e altura de plantas (b), número de perfilhos por planta (c) e no rendimento de grãos (d) da cultura do arroz de terras altas. Média das fontes de nitrogênio. São Mateus do Sul-PR, 2014.

CAPÍTULO 2. ADUBAÇÃO NITROGENADA E PRODUÇÃO DE ENERGIA DA BIOMASSA RESIDUAL DO ARROZ DE TERRAS ALTAS¹¹

Thiago Ranzan¹²; Volnei Pauletti¹³

RESUMO

A demanda energética mundial cresce juntamente com o aumento populacional e a busca de fontes de energia renováveis é crescente. A energia da biomassa residual da produção agrícola vem sendo uma fonte promissora. Apesar da baixa eficiência no aproveitamento do nitrogênio aplicado nas lavouras na forma de adubos solúveis, a produção de biomassa das plantas geralmente aumenta com o uso destes insumos. O uso dos adubos nitrogenados nas lavouras representa um custo energético, mas também pode ser importante para aumentar o potencial de geração de energia a partir da biomassa. Diante do exposto, o presente trabalho busca estudar a eficiência de fontes e doses de nitrogênio no acúmulo de biomassa, na qualidade desta biomassa para geração de energia e no potencial de geração de energia a partir da biomassa residual do arroz de terras altas. O experimento foi conduzido no sul do Brasil, região sub-tropical, no município de São Mateus do Sul, PR, em um Argissolo Vermelho Amarelo. Os tratamentos foram compostos pela combinação de cinco doses (0 kg ha⁻¹; 50 kg ha⁻¹; 100 kg ha⁻¹; 150 kg ha⁻¹; 200 kg ha⁻¹) e três fontes de nitrogênio (ureia; ureia com inibidor de urease; nitrato de amônio). As fontes de nitrogênio não diferiram quanto aos parâmetros avaliados. O aumento da dose de nitrogênio aumentou a produtividade, o poder calorífico e o teor de lignina da biomassa residual do arroz. O arroz de terras altas apresenta potencial na geração de energia com o uso de sua biomassa residual e a adubação nitrogenada representa um custo energético de 51,5 % do total de energia gerada em um hectare. Considerando o balanço energético para sua produção, o uso da biomassa residual do arroz de terras altas cultivadas no Paraná supriria a demanda de aproximadamente 25000 casas ano⁻¹, o que representa uma cidade de 75000 habitantes.

Palavras-chave: Poder calorífico, bioenergia, custo energético, lignina.

¹¹ Resultados parciais da dissertação de mestrado enviada para publicação em ...

¹² Mestrando em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. E-mail, ranzan@ufpr.br.

¹³ Professor, Doutor, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - DSEA, Universidade Federal do Paraná-UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê. CEP 80035-050 Curitiba (PR). E-mails: vpauletti@ufpr.br.

CHAPTER 2. NITROGEN FERTILIZATION AND ENERGY PRODUCTION BY RESIDUAL BIOMASS OF RICE UPLAND

ABSTRACT

Global energy demand increases along with the population growth and the search for renewable energy sources is also rising. The energy from residual biomass from agricultural production has been a promising source. Despite the low use of nitrogen applied on the field in soluble fertilizers forms, the production of plant biomass generally increases with the inputs usage. The use of nitrogenous fertilizers in crops represents an energy cost, but may also be important to increase the potential for power generation from biomass. Given the above, this paper aims to study the efficiency of sources and levels of nitrogen in biomass accumulation, as this biomass for power generation and the potential for generating energy from residual biomass of upland rice. The experiment was conducted in southern Brazil, sub-tropical region, in São Mateus do Sul, PR, on a Ultisols. The treatments consisted of combinations of five doses (0 kg ha⁻¹, 50 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹, 150 kg ha⁻¹, 200 kg ha⁻¹) and three nitrogen sources (urea, urea urease inhibitor; ammonium nitrate). The sources of nitrogen did not differ in the parameters evaluated. Increasing the dose of nitrogen increased the yield, calorific value and lignin content of residual biomass from rice. The upland rice has a potential for power generation using residual biomass and its nitrogen fertilizer represents an energy cost of 51,5 % of the total energy generated in one hectare. Considering the energy balance in its production, the use of residual biomass of upland rice grown in Parana would supply the demand of approximately 25,000 homes year⁻¹, which represents a city of 75,000 inhabitants.

Keywords: Calorific value, bioenergy, energy cost, lignin.

INTRODUÇÃO

A demanda energética mundial cresce juntamente com o crescimento populacional, principalmente em países com economias emergentes, como os do Sudeste da Ásia, Oriente Médio, América do Sul e África (Pérez-Lombard et al., 2008). Em 2010 o consumo energético mundial era de 534.114 milhões de giga joules, sendo os Estados Unidos e a China os principais consumidores, com 39 % do total da energia gerada (IEA, 2012).

Na atualidade a busca de fontes de energias renováveis é crescente (Bridgwater et al., 1999; Demirbas, 2004; Pérez-Lombard et al., 2008). A utilização da biomassa residual das atividades agrícolas é uma tecnologia que pode ser considerada incipiente, se comparada com as outras fontes de energia, mas segundo van den Broek et al. (1996) e IEA (2012), já é uma realidade em muitos países da Europa e América do Norte.

Biomassa é um material orgânico derivado das plantas, que com a utilização da energia solar através da fotossíntese, acumula energia, podendo ser materiais de reflorestamentos, produções agrícolas ou até mesmo residuais produções agrícolas e florestais (Saidur et al., 2011). A energia da biomassa contribui com aproximadamente 10-15 % de toda a demanda energética, sendo que em países industrializados a contribuição é de 9-14 % do total de energia fornecida (Saidur et al., 2011; IEA, 2012).

A energia da biomassa residual é obtida através da combustão do material para geração do vapor que move um gerador, também através da gaseificação que fornece o gás combustível ou também pela pirólise gerando uma fonte líquida de energia renovável (Bridgwater et al., 1999). Já existem usinas de cana-de-açúcar que utilizam o bagaço na geração de energia (CONAB, 2014), e também a geração de energia a partir da casca de arroz resultante da industrialização (Foletto et al., 2005), porém há poucos estudos para avaliar o potencial da biomassa residual que permanece no campo para decomposição.

O nitrogênio (N) é um macro elemento essencial, e na sua presença ou ausência o diferencial é visível, principalmente no acúmulo de massa verde, também denominada biomassa (Dusserre et al., 2012). A produção de todos os fertilizantes nitrogenados parte da síntese da amônia, através da quebra da ligação tripla do N_2 atmosférico (Chagas, 2007), necessitando uma demanda energética de 7889 kWh Mg^{-1} (Chagas, 2007; Brehmer et al., 2008), produzida basicamente com o uso de combustíveis fósseis, estes, recursos não renováveis. Tendo como parâmetro o consumo médio de uma casa de $1848 \text{ kWh ano}^{-1}$ (EPE, 2013), a energia necessária para a produção de 1 Mg de amônia seria suficiente para fornecer energia para 4,3 casas ano^{-1} . Cerca de 1,2 a 1,8 % da energia fóssil global é destinada a fabricação dos fertilizantes nitrogenados (Lag Reid et al., 1999).

A ureia é a principal fonte nitrogenada utilizada na agricultura, devido à alta concentração de nitrogênio e menor custo por quilo de nitrogênio. A hidrólise da ureia pela ação da urease, forma o carbonato de amônio, que em sua dissociação gera um pH alcalino em volta do grânulo, favorecendo a formação de amônia ($N-NH_3$), perdendo-se principalmente quando a ureia é

aplicada em superfície (Tasca et al., 2011). Diante disso, estão surgindo no mercado fontes que minimizam as perdas deste elemento, aumentando a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados. Atualmente já são conhecidos inibidores da urease, por exemplo o tiofosfato de N-butiltriamida - NBPT, que retardam o início da volatilização, aumentando as probabilidades de uma precipitação incorporar o produto ao solo quando aplicado em superfície. A ureia recoberta com cobre e boro e revestida com polímeros são outras alternativas que vem sendo estudadas (Blaylock, 2007).

Diante do exposto, o presente trabalho avaliou a eficiência de fontes e doses de nitrogênio no acúmulo de biomassa, na qualidade desta biomassa para geração de energia e no potencial de geração de energia a partir da biomassa residual do arroz de terras altas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo na área experimental do Projeto Xisto Agrícola, localizada no município de São Mateus do Sul - PR, nas coordenadas 25°51'39"S e 50°23'50"W, distante aproximadamente 150 km da capital Curitiba, no ano agrícola de 2012/2013. A implantação foi realizada no dia 19/11/2012 e o término da colheita se deu no dia 15/04/2013, a qual ocorreu de forma escalonada devido à maturidade das plantas ter variado em função dos tratamentos.

O solo do local do experimento é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo de acordo com (EMBRAPA, 2006). A área foi cultivada com mamona nos anos 2005, 2006 e 2007 e mantida em pousio durante os anos de 2008, 2009 e 2010. Nos últimos dois anos a sequência de cultivo foi aveia-preta, milho, trigo e milho, sendo o milho cultivado no verão e a aveia e o trigo no inverno. A análise de solo antes da implantação do experimento apresentou 1,3 % de matéria orgânica, 4,7 de pH CaCl₂, 2,5 mg dm⁻³ de P, 0,28, 5,0 e 3,4, 7,0 e 0,4 cmol_cdm⁻³ de K, Ca e Mg, H+Al e Al respectivamente com saturação por bases (V %) de 55,7 e por alumínio (m %) de 4,3.

Os tratamentos foram distribuídos no esquema fatorial (5x3) que constitui de cinco doses de nitrogênio (0 kg ha⁻¹; 50 kg ha⁻¹; 100 kg ha⁻¹; 150 kg ha⁻¹; 200 kg ha⁻¹) e de três fontes de nitrogênio (ureia; ureia com 530 mg kg⁻¹ do inibidor de urease *N-(n-butil) tiofosfóricotriamida* (U+NBPT); nitrato de amônio). As parcelas foram constituídas de oito linhas com cinco metros, espaçadas a 0,45m. A área útil foi composta pelas quatro fileiras centrais, descartando-se as

fileiras das extremidades. O delineamento experimental utilizado em campo foi o de blocos completamente casualizados, com três repetições, totalizando 45 unidades experimentais.

O solo vem sendo conduzido sobre sistema de semeadura direta. A adubação de semeadura foi realizada no sulco, aplicando-se 5 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e 50 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando a mistura do formulado 2-20-20, com o superfosfato triplo (44 % de P₂O₅). Também foi realizada uma adubação de cobertura com aplicação a lanço de 30 kg ha⁻¹ de K₂O no início do perfilhamento, com cloreto de potássio. Os tratamentos foram aplicados a lanço em cobertura no dia 09 de janeiro de 2012, durante o perfilhamento.

A cultivar de arroz utilizada foi IAPAR 64 (95 % de germinação) cultivada em sistema de terras altas com ciclo longo de aproximadamente 135 dias. A semeadura foi realizada no período recomendado de acordo com o zoneamento agroclimático para São Mateus do Sul-PR, sendo executada no dia 19 de novembro de 2012, colocando-se em média setenta plantas viáveis por metro linear (140 por m²), com espaçamento de 0,45m entre linhas, com semeadora-adubadora de quatro linhas (1,8m de largura) e uma profundidade de semeadura de 3 a 5 cm. As aplicações dos tratamentos fitossanitários foram realizadas de acordo com a necessidade da cultura.

A biomassa residual sem grãos, denominada (biomassa) foi estimada coletando-se cinco plantas rente ao solo e em sequência em dois pontos da área útil da parcela, totalizando dez plantas, que foram secas em estufa e posteriormente pesadas. A produtividade de biomassa em kg ha⁻¹ foi estimada considerando a biomassa seca das dez plantas e a área ocupada por estas, que foi obtida pela multiplicação da distância entre linhas (0,45m) pela distância medida na linha após o corte das plantas.

Para determinar o teor de carbono (C) e nitrogênio (N) na biomassa, as amostras foram moídas, assim procedendo à análise de C e N. O nitrogênio e o carbono foram determinados via combustão seca, em analisador elementar Vario EL III (Elementar Analysensysteme GmbH, Alemanha), segundo a metodologia proposta por Martins & Reissmann (2007). Neste procedimento o nitrogênio orgânico total é convertido a nitrogênio molecular. Para este procedimento é recomendado que o material seja finamente moído, tendo em vista a pequena quantidade a ser usada, geralmente menos de 50 mg de material vegetal. Este método correlaciona-se bem com o método tradicional Kjeldahl, porém apresenta teores levemente mais altos 1-4%.

O teores de nutrientes (P, K, Ca, Mg) foram determinados na biomassa, utilizando o equipamento espectrofotômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (Varian ICP-OES), segundo a metodologia proposta por Martins & Reissmann (2007).

O poder calorífico foi determinado nas mesmas amostras de biomassa preparadas para determinação do teor de nutrientes com o auxílio de bomba calorimétrica adiabática modelo IKAWERNE, C5000, de acordo com a norma ABNT/NBR 8633/84.

A conversão dos valores de PCS (cuja unidade é dada em kcal kg⁻¹ de massa seca) para quilowatt-hora (kWh) foi realizada considerando-se que 860 kcal equivalem a 1 kWh, segundo dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2011). Posteriormente, considerou-se uma eficiência média de caldeiras de 20% (Nogueira & Lora, 2003) para o cálculo da produção de energia por hectare.

As análises de celulose, hemicelulose e lignina foram determinadas segundo a metodologia do ANKOM utilizada em análises bromatológicas de FDN e FDA (Berchielli et al., 2001).

Os dados coletados foram submetidos à análise da variância, pelo teste F, através do software R[®] versão 2.15.1 e as diferenças entre médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para avaliação do fator quantitativo foi utilizada à análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as variáveis analisadas não houve interação entre os fatores, portanto os resultados são discutidos considerando a influência isolada de cada fator. As diferentes fontes de nitrogênio não apresentaram efeito sobre as variáveis avaliadas sendo que a biomassa residual média acumulada foi de 2780 kg ha⁻¹ (Tabela 1). Produção média de grãos e biomassa de 14377 com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio foram encontradas por Lin et al. (2012), sendo que estes autores também não encontraram diferença entre as fontes de nitrogênio avaliadas, e seu trabalho foi realizado em condições controladas.

O poder calorífico superior (PCS) médio foi de 3926 kcal kg⁻¹ (Tabela 1), abaixo dos 4466 kcal kg⁻¹ encontrados por Saidur et al. (2011), também em biomassa de arroz. Este poder calorífico é superior ao observado para a casca de arroz por Saidur et al. (2011) de 3229 kcal kg⁻¹, atualmente utilizado em caldeiras para produção de energia.

O potencial de geração de energia a partir da biomassa da cultura do arroz de terras altas é dependente da quantidade de biomassa produzida e da qualidade de combustão desta biomassa, sendo este o poder calorífico. Contudo estes dois parâmetros não foram influenciados pela aplicação de fontes de nitrogênio, consequentemente não alterando o potencial energético (Tabela 1). Considerando os dados da EPE (2013) que apresenta $1848 \text{ kWh ano}^{-1}$ como o consumo médio de uma casa, o potencial médio de produção de energia da biomassa residual do arroz de terras altas foi de $2548 \text{ kWh ha ano}^{-1}$, sendo suficiente para suprir a demanda de 1,4 casas ano^{-1} .

Na literatura não foram encontrados trabalhos estudando a composição de celulose, hemicelulose e lignina em função do uso de diferentes fontes de nitrogênio. Comparando os valores encontrados neste estudo, verifica-se que os teores de hemicelulose são semelhantes aos citados por Buranov & Mazza (2008) para o arroz, mas os valores de 39,4 e 15 % para celulose e lignina, respectivamente, são maiores.

Os teores de nitrogênio na biomassa residual do arroz de terras altas apresentaram incremento linear com as aplicações de crescentes doses de nitrogênio (Figura 1a). Aumentando $0,75 \text{ g kg}^{-1}$ a cada 50 kg ha^{-1} de N aplicados, atingindo o teor de $11,4 \text{ g kg}^{-1}$ com a aplicação de 200 kg ha^{-1} . Este aumento linear no teor de nitrogênio também foi observado por Lin et al. (2012), que testou doses de nitrogênio de até 400 kg ha^{-1} , o que demonstra um elevado consumo deste nutriente pelo arroz.

A produção de biomassa do arroz aumentou linearmente com a aplicação de nitrogênio (Figura 1b), tendo um acréscimo de 168 %, comparando-se a dose 0 kg ha^{-1} com a aplicação de 200 kg ha^{-1} , produzindo 4036 kg ha^{-1} . Para cada 1 kg ha^{-1} de N aplicado houve um acúmulo de $12,73 \text{ kg ha}^{-1}$ de biomassa. Lin et al. (2012), em condições controladas e aplicando até 400 kg ha^{-1} de N observou que a produção de biomassa no cultivo do arroz inundado chegou a 16500 kg ha^{-1} também respondendo de forma linear às doses de nitrogênio. Considerando que tanto o teor de nitrogênio na planta quanto a produtividade de biomassa aumentam de forma linear com o aumento da dose de nitrogênio, pode-se afirmar que quanto mais deste nutriente for aplicado, maior será a oferta de biomassa para produção energética. Este comportamento também foi observado em milho (Gava et al., 2010).

Um material apresenta determinada qualidade para combustão, que é representada pelo seu poder calorífico, que é o teor de energia contida no material. Observa-se que esta energia

aumentou na biomassa residual do arroz com a aplicação de nitrogênio (Figura 1c), com um acréscimo de 2,3 % entre a menor e a maior dose aplicada do nutriente.

Visando a qualidade de combustão na formação de pellets, Liu et al. (2013) misturaram proporções de biomassa de arroz juntamente com bambu e houve 22,6 % de acréscimo na qualidade de combustão a medida que foram acrescidas maiores proporções de biomassa de arroz. Tendo só a biomassa do arroz um poder calorífico de 4300 kcal kg⁻¹, superior aos 3958 kcal kg⁻¹ observados no atual estudo.

O incremento no poder calorífico (Figura 1c), influenciado pelo aumento da oferta de nitrogênio para as plantas de arroz de terras altas pode estar relacionada como aumento no teor de lignina da biomassa (Figura 1d). Simili et al. (2008) e Ribeiro & Perreira (2010) também observaram que este composto carbônico aumenta nas plantas de sorgo-sudão e capim-Tifton 85 com a aplicação de nitrogênio. Isto é acarretado devido este nutriente ser componente da fenilalanina amônia-liase, uma das principais enzimas que atuam na formação dos precursores da lignina como o fenilpropanóide (Raes et al., 2003; Monteiro et al., 2004). De acordo com Demirbas & Demirbas (2004) e Protásio et al. (2012), o conteúdo lignocelulósico deve ser levado em consideração, principalmente pela composição da lignina que apresenta um poder de combustão maior que a celulose e hemicelulose, por outro lado a lignina apresentou aumento linear com as doses de nitrogênio, mas não apresentou correlação significativa ($r = -0,17$) com o poder calorífico.

Os teores de celulose (Figura 1e), apresentaram um comportamento quadrático com um valor máximo ao ser aplicado 62 kg ha⁻¹ de N, incrementando em 2,5 % o teor na biomassa. Estudando duas cultivares de braquiária, Maranhão et al. (2009) encontraram decréscimo nos teores de celulose com a aplicação de nitrogênio. Para os teores de hemicelulose o comportamento observado pelos autores foi quadrático com a aplicação de nitrogênio, resultado diferente do observado neste estudo em que os teores de hemicelulose apresentaram um decréscimo de 2 % em seu teor à medida que houve aumento da dose de nitrogênio aplicada (Figura 1f).

O potencial de geração de energia do arroz de terras altas (Figura 2a), obtido através da biomassa produzida e do poder calorífico desta biomassa, aumentou linearmente conforme as doses aplicadas, produzindo 167 % mais energia com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N, se comparado a dose 0 kg ha⁻¹. Utilizando dados da EPE (2013), em que o consumo médio de uma casa é de 1848 kWh ano⁻¹, a produção máxima de energia com o uso da biomassa residual do

arroz foi de 3543 kWh ha ano⁻¹. Baseando-se nos dados da SEAB (2013), em que no estado do Paraná, a área cultivada com arroz no sistema de terras altas é de 13098 hectares, o uso da biomassa residual renderia a produção de aproximadamente 46,5 milhões de kWh ano⁻¹, suficiente para a manutenção de 25000 casas ano⁻¹, equivalente a uma cidade com 75000 habitantes. Ou cada hectare cultivado com arroz de terras altas supriria a demanda energética de 1,9 casas ano⁻¹.

O nitrogênio é um elemento instável e perdido facilmente (Dalal et al., 2003; Bertol et al., 2005; Tasca et al., 2011). Tendo como base o elevado custo energético para a síntese da amônia, componente primário dos fertilizantes nitrogenados, é apresentado um balanço da geração de energia influenciado pelas doses de nitrogênio (Figura 2b). A biomassa residual acumulada foi o principal componente no acréscimo da energia da cultura do arroz de terras altas, contribuindo com 97,7 % do total de energia acrescida pela aplicação do nitrogênio. Entretanto a melhora na qualidade da biomassa, influenciada pelo aumento linear do PCS representou 2,3 % do total de energia contida. Este valor é aparentemente baixo, porém por se tratar de uma melhora na composição química da biomassa é de extrema importância para futuros estudos, tendo em vista que a nutrição de plantas possa afetar a combustão dos materiais.

Baseando-se na área sem a aplicação de nitrogênio (Figura 2b), o acúmulo de biomassa residual proporcionaria a geração de 1476 kWh ha ano⁻¹, e cada 1 kg ha⁻¹ de N aplicado acrescentaria 10,7 kWh ha ano⁻¹. Utilizando os dados de Brehmer et al. (2008), em que para produção de 1 kg de N são necessários 9,5 kWh⁻¹, teríamos um balanço positivo de 1,2 kWh ha ano⁻¹ para cada kg de N aplicado. Com o uso da máxima dose aplicada neste estudo, que foi de 200 kg ha⁻¹, compensaria o custo energético da sua produção e sobriaria 240 kWh ha ano⁻¹, acrescentados a energia produzida pela área sem a aplicação de nitrogênio, ou seja, uma geração de energia de 1716 kWh ha ano⁻¹. Com estes dados percebe-se que o nitrogênio representa um custo energético de 51,5 % do total de energia gerado pela biomassa residual do arroz.

O uso da biomassa residual acarreta uma exportação de nutrientes ainda não contabilizada nas recomendações de adubação de reposição, sendo que a biomassa do arroz de terras altas não apresentou diferenças em extrações e exportações de C, N, P, K, Ca, Mg com o uso de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados (Tabela 2). Apesar de ser frequente trabalhos relatarem perdas de nitrogênio por volatilização com a aplicação de ureia (Lara Cabezas et al., 1997; Tasca et al., 2011; Stafanato et al., 2013), caso tenha ocorrido no presente

estudo, isto não afetou a produtividade de biomassa (Tabela 1) nem a quantidade de nitrogênio contido nesta biomassa do arroz de terras altas (Tabela 2).

De acordo com Fageria (2009), os teores de potássio na biomassa do arroz de terras altas encontrados neste estudo se assemelham com os encontrados pelos autores. O potássio é o elemento presente em maior quantidade na biomassa do arroz (Tabela 2) e deve ser exportado em maior quantidade com o uso da biomassa para geração de energia, assim demandando um cuidado na sua reposição, pois a exportação média do potássio na biomassa sem grãos seria de 46 kg ha^{-1} , ou seja para cada tonelada de biomassa retirada, seria exportado 16 kg de potássio. Comparando-se com os teores iniciais de potássio trocável no solo, a retirada da biomassa representaria a exportação de 21 % do total do potássio disponível do solo.

Para os efeitos das doses de nitrogênio (Tabela 2), todos os elementos apresentaram comportamento linear no acúmulo de nutrientes C, N, P, K, Ca, Mg por hectare, mas somente o magnésio apresentou um aumento linear significativo em seus teores com a aplicação das doses de nitrogênio, resultado que corrobora com os encontrados por Batista & Monteiro (2010), que estudando os teores de magnésio com aplicação de doses de nitrogênio no capim-marandu encontram um comportamento quadrático.

CONCLUSÃO

A aplicação de nitrogênio aumenta o potencial de produção de energia da biomassa residual do arroz de terras altas devido ao aumento da quantidade de biomassa produzida (97,7 %) e pela melhora na qualidade da biomassa (2,3%);

A produtividade de biomassa e a qualidade desta biomassa de arroz para produção de energia não são influenciadas pelas fontes de nitrogênio aplicadas;

O uso da biomassa residual do arroz de terras altas apresenta potencial na geração de energia.

LITERATURA CITADA

BATISTA, K. & MONTEIRO, F.A. Variações nos teores de potássio, cálcio e magnésio em capim-marandu adubado com doses de nitrogênio e de enxofre. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:151-161, 2010.

BERCHIELLI, T.T.; SADER, A.P.O.; TONANI F.L.; PAZIANI, S.F. & ANDRADE, P. Avaliação da determinação da fibra em detergente neutro e da fibra em detergente ácido pelo sistema ANKOM. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1572-1578, 2001.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N. & LAVORANTI, O.J. Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em Sistema de semeadura direta. *Curitiba, Floresta*, 35:429-442, 2005.

BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 120, pp. 8-10. 2007.

BREHMER, B.; STRUIK, P.C. & SANDERS, J. Using an energetic and exergetic life cycle analysis to assess the best applications of legumes within a biobased economy. *Biomass and Bioenergy*, 32:1175-1186, 2008.

BRIDGWATER, A.V.; MEIER, D. & RADLEIN. An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic Geochemistry*, 30:1479-1493, 1999.

BURANOV, A.U. & MAZZA, G. Lignin in straw of herbaceous crops. *Industrial Crops and Products*, 28:237-259, 2008.

CHAGAS, A.P. A síntese da amônia: alguns aspectos históricos. *Química Nova*, 30:240-247, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. A Geração Termoeletrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil: Análise do Desempenho da Safra 2009-2010. Disponível em

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res..pdf>. Acesso em 16 Jan. 2014.

DALAL, R.C.; WANG, W.; ROBERTSON, G.P. & PARTON, W.J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 41:165-195, 2003.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30:219-230, 2004.

DEMIRBAS, A. & DEMIRBAS, A.H. Estimating the Calorific Values of Lignocellulosic Fuels. *Energy Exploration and Exploitation*, 22:135-144, 2004.

DUSSERRE, J.; CHOPART, J.L.; DOUZET, J.M.; RAKOTOARISOA, J. & SCOPEL, E. Upland rice production under conservation agriculture cropping systems in cold conditions of tropical highlands. *Field Crops Research*, 138:33-41, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.; Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Produção de Informação; 1ª. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 412p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço Energético Nacional 2011 – Ano base 2010: Resultados Preliminares. Rio de Janeiro, 49 p.: 18 il., 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Demanda de Energia Elétrica - 10 anos. Disponível em <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/2011_0222_2.pdf>. Acesso em 09 Jan. 2013.

FAGERIA, N.K. The Use of Nutrients in Crop Plants. CRC Press, Boca Raton, FL, 2009. 448p.

FOLETTTO, E.L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R.S. PORTUGAL JR, U.L. & JANH, S. L. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. *Química Nova*, 28:1055-1060, 2005.

GAVA, G.J.C.; OLIVEIRA, M.W.; SILVA, M.A.; JERÔNIMO, E.M.; CRUZ, J.C.S. & TRIVELIN, P.C.O. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de 15N-uréia. *Semina: Ciências Agrárias*, 31:851-862, 2010.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, Energy balances of non-OECD countries. Disponível em <http://www.iea.org/media/training/presentations/statisticsmarch/BalancesofNonOECDCountries.pdf>>. Acesso em 16 Jan. 2014.

LAGREID, M.; BOCKMAN, O.C. & KAARSTAD, O. Agriculture fertilizers and the environment. Wallingford, CABI Publishing, 1999. 294p.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:489-496, 1997.

LIN, Z.; DAI, Q.; YE, S.; WU, F.; JIA, Y.; CHEN, J.; XU, L.; ZHANG, H.; HUO, Z.; XU, K. & WEI, H. Effects of Nitrogen Application Levels on Ammonia Volatilization and Nitrogen Utilization during Rice Growing Season. *Rice Science*, 19:125-134, 2012.

LIU, Z.; LIU, X.; FEI, B.; JIANG, Z.; CAI, Z. & YU, Y. The properties of pellets from mixing bamboo and rice straw. *Renewable Energy*, 55:1-5, 2013.

MARANHÃO, C.M.A.; SILVA, C.C.F.; BONOMO, P. & PIRES, A.J.V. Produção e composição químico-bromatológica de duas cultivares de braquiária adubadas com nitrogênio e sua relação com o índice SPAD. *Acta Scientiarum and Animal Sciences*, 31:117-122, 2009.

MARTINS, A.A.L. & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químicos-analíticos. *Scientia Agrária*, 8:1-17, 2007.

MONTEIRO, M.B.O.; PEREIRA, R.P.W. & ABREU, H.S. bioquímica da lignificação de células xilemáticas. *Floresta e Ambiente*, 11:48-57, 2004.

NOGUEIRA, L.A.H. & LORA, E.E.S. Dendroenergia: fundamentos e aplicações. 2.ed. Rio de Janeiro, Interciência, 2003. 199p.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J. & POUT, C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40:394-398, 2008.

PROTÁSIO, T.P.; TONOLI, G.H.D.; JÚNIOR, M.G.; BUFALINO, L.; COUTO, A.M. & TRUGILHO, P.F. Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos. *Cerne*, 18:433-439, 2012.

RAES, J; ROHDE, A; CHRISTENSEN, J. H; VAN DE PEER, Y; BOERJAN, W. Genome-Wide Characterization of the Lignification Toolbox in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 133:1051-1071, 2003.

RIBEIRO, K.G & PEREIRA, O.G. Valor nutritivo do Capim-Tifton 85 sob doses de nitrogênio e idades de rebrotação. *Veterinária e Zootecnia*. 17:560-567, 2010.

SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E.A.; DEMIRBAS, A. ; HOSSAIN, M.S. & MEKHILEF, S. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:2262-2289, 2011.

SEAB (SECRETÁRIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO). Comparativo de área, produção e produtividade. Paraná, PR, 2013. 6p.

SIMILI, F.F.; REIS, R.A.; FURLAN, B.N.; PAZ, C.C.P. de.; LIMA, M.L.P. & BELLINGIERIS, P.A. Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica. *Ciência Agrotécnica*, 32: 474-480, 2008.

STAFANATO, J.B.; GOULART, R.S.; ZONTA, E.; LIMA, E.; MAZUR, N.; PEREIRA, C.G. & SOUZA, H.N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 37:726-732, 2013.

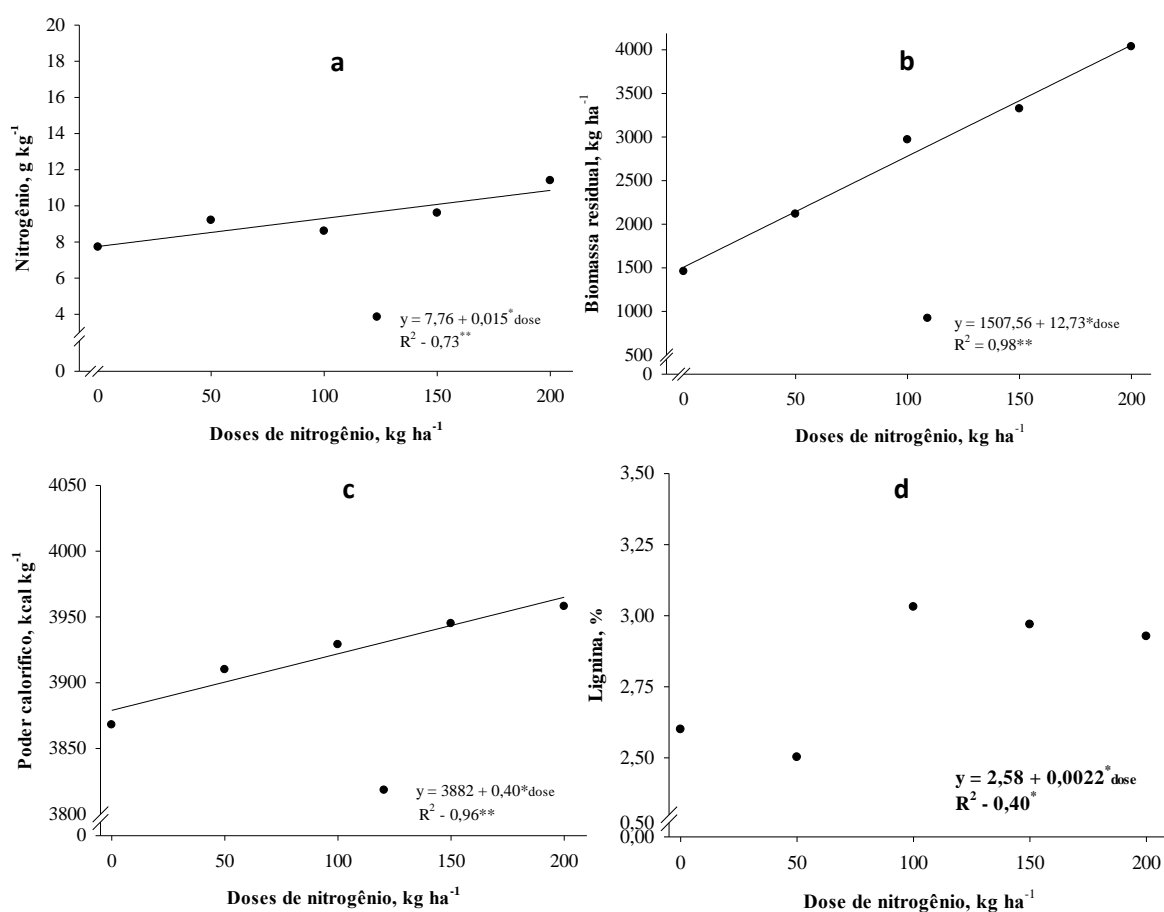
TASCA, F. A., ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A., GATIBONI, L.C. e CASSOL, P.C.. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 35:493-502, 2011.

VAN DEN BROEK, R.; FAALJ, A. & VAN WIJK, A. Biomass combustion for power generation. *Biomass and Bioenergy*, 11:271-281, 1996.

Tabela 1 – Efeito das fontes de nitrogênio na biomassa residual acumulada (Biomassa), poder calorífico superior (PCS), energia acumulada por hectare (Energia) e composição de celulose (Cel.), hemicelulose (Hem.) e lignina (Lig.) do arroz de terras altas. Média das doses de nitrogênio. São Mateus do Sul-PR, 2014.

	Biomassa	PCS	Energia	Cel.	Hem.	Lig.
	kg ha ⁻¹	kcal kg ⁻¹	kWh ha ano ⁻¹%.....		
Ureia	2763 ^{ns}	3932 ^{ns}	2536 ^{ns}	26,3 ^{ns}	24,4 ^{ns}	2,6 ^{ns}
Ureia + NBPT	2816	3914	2566	26,7	24,8	2,7
Nitrato de amônio	2763	3933	2542	26,1	25,4	2,9

ns= diferença não significativa pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).



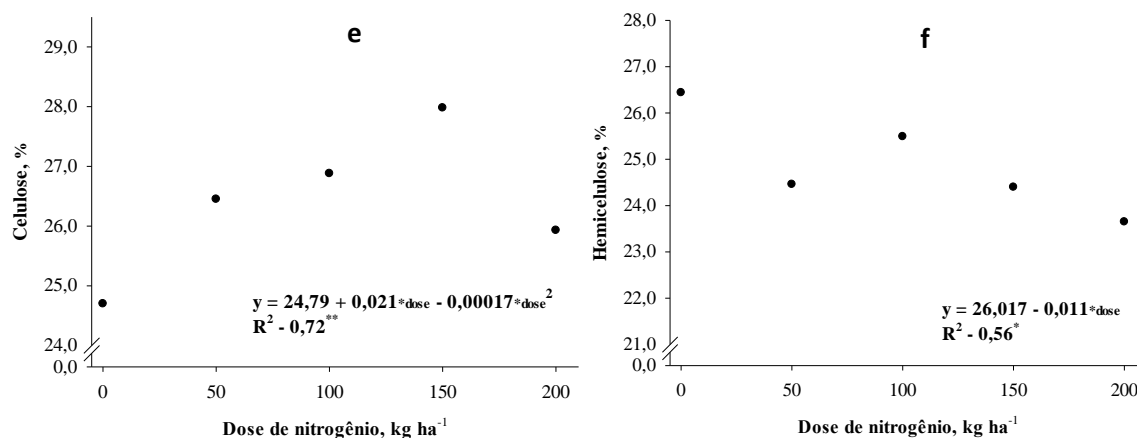


Figura 1 – Efeito das doses de nitrogênio no teor de nitrogênio na biomassa residual (a), no acúmulo de biomassa residual (b), poder calorífico superior (c) nos teores de lignina (d), celulose (e), e hemicelulose (f), do arroz de terras altas. Média das fontes de nitrogênio. São Mateus do Sul-PR, 2014.

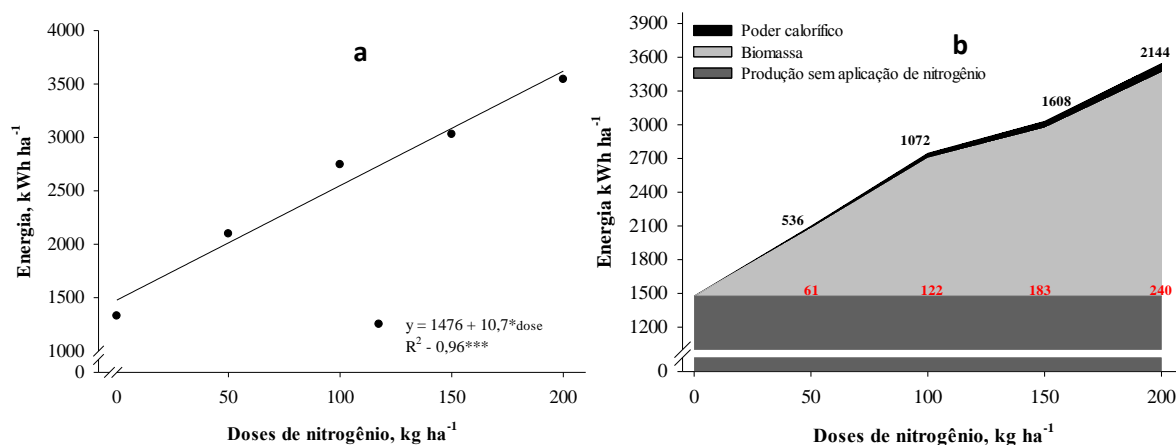


Figura 2 – Efeito das dose nitrogênio no potencial de geração de energia por hectare (a), Balanço energético da utilização do nitrogênio na geração de energia do arroz de terras altas. Média das fontes de nitrogênio. São Mateus do Sul-PR, 2014.

Tabela 2 – Teor (g kg^{-1}) e conteúdo (kg ha^{-1}) de nutrientes na biomassa de arroz de terras altas, em função da fonte e dose de nitrogênio utilizada.

Nitrogênio	-----C-----		-----N-----		-----P-----		-----K-----		-----Ca-----		-----Mg-----	
Fonte	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}
Ureia	396,3	1103	8,3	24,6	0,3	0,9	15,2	42,4	3,3	9,0	2,2	6,2
Ureia + NBPT	399,5	1127	9,2	26,8	0,3	0,8	16,9	49,8	3,2	9,1	2,2	6,2
Nitrato de amônio	395,9	1100	10,3	29,8	0,3	0,8	16,1	45,9	3,2	9,0	2,3	6,5
Dose	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0	383,5	557	-	10,5	0,4	0,6	16,0	22,4	3,3	4,7	2,0	3,0
50	402,1	854	-	19,4	0,4	0,8	15,0	33,6	3,1	6,7	2,2	4,5
100	405,8	1206	-	26,6	0,4	1,0	14,4	44,0	3,3	10,1	2,1	6,1
150	397,7	1326	-	32,2	0,3	0,8	17,3	58,1	3,2	10,9	2,5	8,2
200	397,2	1606	-	46,6	0,2	1,0	17,6	72,2	3,2	12,9	2,4	9,5
Regressão	ns	L**	-	L**	ns	ns	ns	L**	ns	L**	L*	L**

ns= diferença não significativa pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). * = diferença significativa pela regressão ($p \leq 0,05$). ** = diferença significativa pela regressão ($p \leq 0,01$).

CONCLUSÃO GERAL

As perdas máxima por volatilização foram de 14,3 % do total de nitrogênio aplicado e a utilização de xisto retornado em mistura direta com a ureia demonstrou potencial na redução de 31 % da volatilização de nitrogênio no ensaio em casa de vegetação.

Aplicação de xisto retornado em cobertura posterior a aplicação da ureia aumentou os teores de nitrogênio na folha índice.

A dose para o máximo rendimento de grãos de arroz (IAPAR 64) foi de 210 kg ha⁻¹, não havendo diferença entre as fontes de fertilizantes nitrogenados para o rendimento de grãos.

A biomassa residual acumulada representa 97,7 % do total de energia gerado por hectare, enquanto que a melhora na qualidade da biomassa representa 2,3 % da geração de energia;

Doses crescentes de nitrogênio acarretam incrementos no poder calorífico e nos teores de lignina da biomassa residual do arroz de terras altas;

O nitrogênio representa um custo energético de 51,5 % do total de energia gerado em um hectare de arroz de terras altas;

O uso da biomassa residual do arroz de terras altas apresenta potencial na geração de energia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do xisto retornado misturado a ureia necessita ser testado mais vezes com intuito de verificar se este efeito é realmente efetivo, sendo este o caso, verificar qual é o mecanismo de ação desta mistura na diminuição das perdas de nitrogênio.

O potencial máximo de geração de energia apresentado no Capítulo 2 é referente ao uso de toda a biomassa residual colhida do arroz de terras altas. Levando em consideração o sistema de plantio direto deve ser mantida parte deste material na superfície do solo. Porém não há estudos envolvendo o uso de biomassa que possa nortear o quanto deve ser retirado do solo para não afetar o sistema, sendo que esta prática varia de região em região de acordo com solo e clima.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Coqri da área experimental.

	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Trat	Fonte	Dose
3,6	12	22	2	1	5	11	23	13	21	1	Ureia	0
67										2	Ureia	50
3,6	10	25	7	15	16	14	19	8		3	Ureia	100
59										4	Ureia	150
3,6	20	6	18	9	3	17	24	4		5	Ureia	200
51										6	Ureia + Xisto Retornado	0
<hr/>												
<hr/>												
3,6	25	17	7	3	10	16	21	6	18	7	Ureia + Xisto Retornado	50
42										8	Ureia + Xisto Retornado	100
3,6	19	4	8	24	13	2	12	20		9	Ureia + Xisto Retornado	150
34										10	Ureia + Xisto Retornado	200
3,6	14	9	22	23	15	1	5	11		11	Ureia + Finos Xisto	0
26										12	Ureia + Finos Xisto	50
<hr/>												
<hr/>												
3,6	21	20	5	3	7	2	13	10	9	13	Ureia + Finos Xisto	100
17										14	Ureia + Finos Xisto	150
3,6	8	22	15	16	18	19	1	24		15	Ureia + Finos Xisto	200
9										16	Ureia + NBPT	0
3,6	25	14	23	4	17	6	12	11		17	Ureia + NBPT	50
1										18	Ureia + NBPT	100
<hr/>												
<hr/>												
										19	Ureia + NBPT	150
										20	Ureia + NBPT	200
										21	Nitrato de amônio	0
										22	Nitrato de amônio	50
										23	Nitrato de amônio	100
										24	Nitrato de amônio	150
										25	Nitrato de amônio	200

RESUMO BIOGRÁFICO

Thiago Ranzan, filho de Jandir e Denize Maria Comunello Ranzan, nasceu em 19 de março de 1990, em Ampére (PR).

Viveu a infância e a juventude no distrito de São Roque, interior do município de São Lourenço do Oeste (SC), sempre em contato com o meio rural. Coursou o ensino fundamental (1ª até a 8ª) na Escola de Educação Básica Volta Redonda (extinta), Distrito de São Roque (SC) e completou os estudos do ensino médio no Colégio Cenecista Jorge Lacerda “CNEC” em São Lourenço do Oeste na cidade (SC).

Em 2007 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Comunitária da Região de Chapecó – Campus Chapecó - “UNOCHAPECO”, graduando-se no ano de 2011. De Fevereiro de 2012 a Fevereiro de 2014, realizou o Curso de Mestrado em Ciência do Solo, na área de Fertilidade do solo e Nutrição mineral de plantas sob orientação do Prof. Volnei Pauletti, no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – “UFPR”.

Desde maio de 2013 atuando como pesquisador visitante e coordenador da área experimental dentro do projeto Xisto Agrícola, vinculado a Embrapa Clima Temperado e Petrobras. É membro da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo desde 2013.